

Miljødirektoratet
Grensesvingen 7
0661 Oslo

Att.: Hilde Beate Keilen

Tildekking i Gunneklevfjorden

Sluttrapport



Sammendrag

Miljødirektoratet har pålagt Norsk Hydro ASA å gjennomføre oppryddingstiltak mot forurenset sjøbunn i Gunneklevfjorden. Denne sluttrapporten oppsummerer arbeidene og dokumentasjonen som kreves i påleggets punkt 9.6. Arbeidene er gjennomført innenfor områdets geotekniske rammer og i tråd med kravet om skånsom gjennomføring.

Hydro har vært byggherre og tiltakshaver. NGI har fungert som geoteknisk og miljøteknisk rådgiver, Repstad Anlegg som entreprenør, og COWI som miljøteknisk rådgiver for entreprenøren.

Tiltaket omfattet planlegging, geotekniske vurderinger og gjennomføring av tildekking av sjøbunnen med mineralske masser. I områder med spesielt krevende geotekniske forhold er det etablert en sjeté som konsekvensbegrensende tiltak. Arbeidene ble utført med spesialutviklet metode og utstyr, inkludert tildekking i fire separate lag à ca. 5 cm, med GPS- og vaierstyring for å sikre jevn fordeling og minimal oppvirvling av forurenset sediment, i tråd med påleggets krav om skånsom gjennomføring.

Totalt er det lagt ut om lag 517 000 tonn stein og mineralske masser, hvorav ~ 282 000 tonn til sjetéen og ~235 000 tonn til tildekkingen. I et avgrenset område (~0,7 % av fjordarealet) i tykkslamsonen ble det etter innsynkning lagt ~3 cm, i tråd med påleggets presisering om geotekniske begrensninger.

Det miljøtekniske kontroll- og overvåkingsprogrammet har fulgt arbeidet før, under og etter gjennomføring.

NGIs uavhengige vurdering bekrefter at påleggets verifikasjonskrav er oppfylt:

- Tildekkingslagets tykkelse: Kravet om minimum 20 cm tildekking i 90 % av prøvene er oppfylt.
- Kjemisk kvalitet: Konsentrasjoner av kvikksølv, metaller, PAH, PCB og TBT tilfredsstiller kravet om tilstandsklasse II eller bedre i minst 90 % av stasjonene. OCS tilfredsstiller kravet om en reduksjon i konsentrasjon på 90 % etter tiltak.
- Dioksiner: Konsentrasjonen er redusert med 99,9 % sammenliknet med opprinnelig nivå. Enkelte målinger i klasse III–IV er i tråd med påleggets presisering om geotekniske begrensninger.

Hydros konklusjon: De kortsiktige tiltaksmålene definert i pålegget er oppnådd. De langsiktige målene følges opp gjennom et 12-årig overvåkingsprogram i henhold til pålegget.

Innhold

Sammendrag	2
1 Innledning	6
1.1 Bakgrunn.....	6
1.2 Om denne rapporten	8
1.3 Miljømål	9
1.4 Tiltaksmål	9
Langsiktig tiltaksmål	9
Kortsiktig tiltaksmål	9
1.5 Grunnlag for tildekkingsløsning	9
2 Tiltaksgjennomføring	11
2.1 Forberedende arbeider	12
2.1.1 Lastekai	12
2.1.2 Siltgardin.....	12
2.1.3 Dokumentasjon på masser	13
2.2 Sjete.....	14
2.2.1 UXO (Unexploded ordnance)	16
2.3 Klargjøring for tildekking	16
2.3.1 Opprydding av Gunneklevfjorden	16
2.3.2 Kutting av siv	18
2.4 Tildekking.....	18
2.4.2 Tildekking ved pumping av masser.....	20
2.4.3 Tildekking med gravemaskin på lekter	21
2.4.4 Tildekking av strandsoner	22
2.4.5 Tildekking av innsynkning i tykkslamområdet	23
2.5 Tiltak for støvreduksjon.....	25
3 Miljøovervåking	26
3.1 Bakgrunnsmålinger	26
3.2 Overvåkingsmetode, resultater mottatt under tiltaksgjennomføring.	27
3.3 Turbiditetsovervåking	27
3.4 Vannprøver	30
3.4.1 Jevnlig vannprøvetaking	30
3.4.2 Prøvetaking ved alarm	31
3.5 Passive prøvetakere.....	31
3.5.1 SPMD	31
3.5.2 DGT	32
3.5.3 POM	32
3.6 Sedimentfeller.....	33

3.7	Oppsummering av overvåking under tiltaket	35
4	Dokumentasjon av resultatoppnåelse	36
4.1	Mektighet.....	36
4.1.1	Målemetode.....	36
4.1.2	Resultater mektighetsmålinger	37
4.1.3	Strandsoner	39
4.2	Kjemisk kontroll av tildekkingslaget.....	39
4.3	Innsynkning i tykkslamområdet	41
4.4	Stikkprøver NGI.....	43
5	Beregnet mengde helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert ved tiltaksgjennomføringen, etter veileder M-831 2017	44
6	Vurdering av om de kortsiktige tiltaksmålene definert i Miljødirektoratets pålegg er oppnådd	45
7	Avvik og uønskede hendelser	46
7.1	Eventuelle avvik fra tillatelsen og avbøtende tiltak.	46
7.2	Uønskede hendelser, anmerkninger og avbøtende tiltak.....	48
7.2.1	Turbiditet (spredning av rene partikler)	48
7.2.2	Observasjoner av sorte partikler.....	48
7.2.3	Generelle anleggsaktiviteter	49
7.2.4	Innsynkning i slamlag	49
7.2.5	Øvrige temakategorier	49
7.2.6	Vedlegg	50
8	Beskrivelse av erfaring med utstyr, teknologi etc.	51
8.1	Dumpelekter	51
8.2	Tildeckingsutstyr.....	51
8.2.1	Anleggsområde, pumper og oppsett.....	51
8.2.2	Utleggingsfartøy	52
8.2.3	Slitasje på utstyr	53
8.2.4	Turbiditet.....	54
8.3	Kontroll av tildekkingslaget	58
8.3.1	Kjerneprøver	58
8.3.2	Målepinner	60
8.3.3	Sjøbunnscan	61
8.4	Miljøovervåking	61
8.4.1	Prøver ved alarmer	62
9	Referanser	63
	Vedlegg	64

- A. Daglig kontroll av siltgardin
- B. Dokumentasjon tildekkingsmasser
- C. Sjete Dumpelogg
- D. Sjete dokumentasjon
- E. Tildekking siktekurver
- F. Tildekkingslogg
- G. Vurdering bruddområdet
- H. Resultater miljøovervåking
- I. Turbiditetslogg
- J. Resultater tykkelsesmålinger
- K. Bilder av tykkelsesmålinger
- L. Analyseresultater fra tildekkingslag
- M. Stikkprøvekontroll av tildekking
- N. Vurdering av tiltaks mål
- O. Oversikt uønskede hendelser ytre miljø
- P. Miljøriskovurdering_rev 03
- Q. Vurdering kjerneprøvetaker
- R. Målepinner

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Hydro etablerte industriområdet på Herøya i Porsgrunn i 1928 som produksjonssted for gjødsel. Området ble senere utvidet med blant annet kloralkali-/klor- og magnesiumproduksjon. Utslipp fra denne historiske virksomheten, i en tid med begrenset kunnskap om miljøkonsekvenser, har bidratt til forurensning av sjøbunnen i Gunneklevfjorden.

Sedimentene inneholder miljøgifter som kvikksølv, dioksiner, TBT (tributyltinnforbindelser), PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) og PCB (polyklorerte bifenyler). Forurensningen er hovedsakelig knyttet til slamlag. Disse har mektighet mellom 0,1–0,5 m i mesteparten av området (Delområde 1), men enkelte steder opp til 2,5 m (Delområde 2), ref. Figur 1-1. Slammet har lav skjærstyrke, lav egenvekt og høyt vanninnhold, noe som gjør det ustabilt. Forstyrrelser kan føre til utglidning og omrøring av store slamvolumer, med risiko for spredning av forurensning.

Fra 1970-tallet ble det gjennomført betydelige utslippsreduksjoner gjennom endringer i råvarer, produksjonsprosesser og etablering av renseanlegg. Hydro har ikke hatt industriaktivitet på Herøya siden tidlig 2000-tallet, og området er i dag en åpen industripark med rundt 90 virksomheter.

Miljødirektoratet har pålagt Norsk Hydro ASA å gjennomføre oppryddingstiltak i Gunneklevfjorden [1, 2]. Tiltakene omfatter stabilisering av sjøbunnen og tildekking med rene masser. Norges Geotekniske Institutt (NGI) har prosjektert en helhetlig tildekkingsløsning som ivaretar geoteknisk sikkerhet mot utglidning og minimerer risikoen for spredning av forurensning under og etter gjennomføring av tildekkingsarbeidet. Dette er dokumentert i tiltaksbeskrivelsen med tilhørende geotekniske vurderinger [3].

Ved prosjektoppstart ble det etablert et miljøteknisk kontroll- og overvåkingsprogram [4]. Programmet oppdateres ved behov og sikrer at kravene i Miljødirektoratets pålegg til Hydro om gjennomføring og overvåking av tiltakene etterleves [1, 2].

Hydro har rollen som byggherre og har engasjert Repstad Anlegg som utførende entreprenør i prosjektet. COWI fungerer som miljøteknisk rådgiver for Repstad Anlegg, mens NGI er engasjert av Hydro som geoteknisk og miljøteknisk rådgiver. NGI bistår med kvalitetssikring, risikovurderinger, og vurdering av avbøtende tiltak.



Figur 1-1: Oversikt over Gunneklevfjorden med Herøya på venstre side og markert område for Delområde 1 og 2. Sjeté er markert i grønt.

1.2 Om denne rapporten

Iht. Krav i pålegget fra Miljødirektoratet skal det sendes inn sluttrapport fra arbeidene innen tre måneder etter anleggsarbeidene er avsluttet. Dette dokumentet oppsummerer anleggsarbeidene, og som definert i påleggets punkt 9.6 inneholder dokumentet følgende:

Dokumentasjon	Plassering i sluttrapport
Bakgrunn og begrunnelse for tiltakene	Kapittel 2
Beskrivelse av hvordan tiltakene er gjennomført	Kapittel 2
Tildekking: dokumentasjon på metode og tykkelse på tildekkingslaget, mengde og typer masse benyttet	Kapittel 2 (Metode) og Kapittel 0
Overvåkingsmetode, resultater mottatt under tiltaksgjennomføring	Kapittel 0
Dokumentasjon av resultatoppnåelse	Kapittel 0
Beregnet mengde helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert ved tiltaksgjennomføringen (Veileder M-831 2017 skal brukes)	Kapittel 0
Vurdering av om miljømål for tiltaket er gjennomført	Kapittel 0
Eventuelle avvik fra tillatelsen og avbøtende tiltak	Kapittel 0
Uønskede hendelser, anmerkninger og avbøtende tiltak	Kapittel 0
Beskrivelse av erfaring med utstyr, teknologi, etc.	Kapittel 0
Kopi av alle loggføringer	Vedlegg
Mudring: Metode benyttet. Mengde masse mudret, transportert og mottatt av godkjent deponi	Utgår

1.3 Miljømål

Målsettingen for arbeidet med opprydding i forurenset sjøbunn er at miljøgiftene som hovedregel skal tas ut av sirkulasjon. Miljødirektoratets krav til både langsiktige miljømål, tiltaksmål og sluttkontroll er gitt i påleggets punkt 3.

Det overordnede miljømålet for Gunneklevfjorden er god kjemisk tilstand innen utgangen av 2027 og godt økologisk potensial innen utgangen av 2027. Sedimentene skal ikke medføre risiko for human helse ved den bruk som området er regulert for [1].

1.4 Tiltaksmål

Langsiktig tiltaksmål

Det langsiktige tiltaks målet er at det skal etableres et varig tildekkingslag av egnet materiale på eksisterende sjøbunn som isolerer underliggende miljøgifter og hindre spredning til vannmassene, til biota, som kjemisk utlekking eller som fysisk suspendert materiale. Dette betyr i praksis at ny ren sjøbunn på lang sikt skal tilfredsstille tilstandsklasse III eller bedre for miljøgiftene kvikksølv, dioksiner/furaner, HCB, TBT, PCB₇ og enkeltstoffer av PAH₁₆ jf. Miljødirektoratets grenseverdier for klassifisering [5].

Kortsiktig tiltaksmål

Utbredelse og tykkelse av tildekkingslaget inkludert erosjonslag skal være minimum 20 cm. Minimum oppnådd mektighet skal dokumenteres i 90 % av prøvene.

Umiddelbart etter at tildekkingen er gjennomført skal innholdet av kvikksølv, dioksiner/furaner, HCB, TBT, PCB₇ og PAH_{er} (de 16 som inngår i PAH₁₆) som gjennomsnitt av de øverste 10 cm av tildekkingslaget være i tilstandsklasse II eller lavere i minimum 90% av målestasjonene i tiltaksområdet. Ingen av verdiene i denne sluttkontrollen skal overskride grenseverdien for tilstandsklasse III/IV jf. Miljødirektoratets grenseverdier for klassifisering [5]. For oktaklorstyren (OCS) som det ikke finnes tilstandsklasser for, skal konsentrasjonen av OCS i de øvre 10 cm av tildekkingslaget som et minimum reduseres med 90% sammenlignet med verdiene før tildekkingen starter.

Pålegget presiserer at tildekkingen skal skje innenfor rammen av det som de geotekniske forholdene i Gunneklevfjorden tillater.

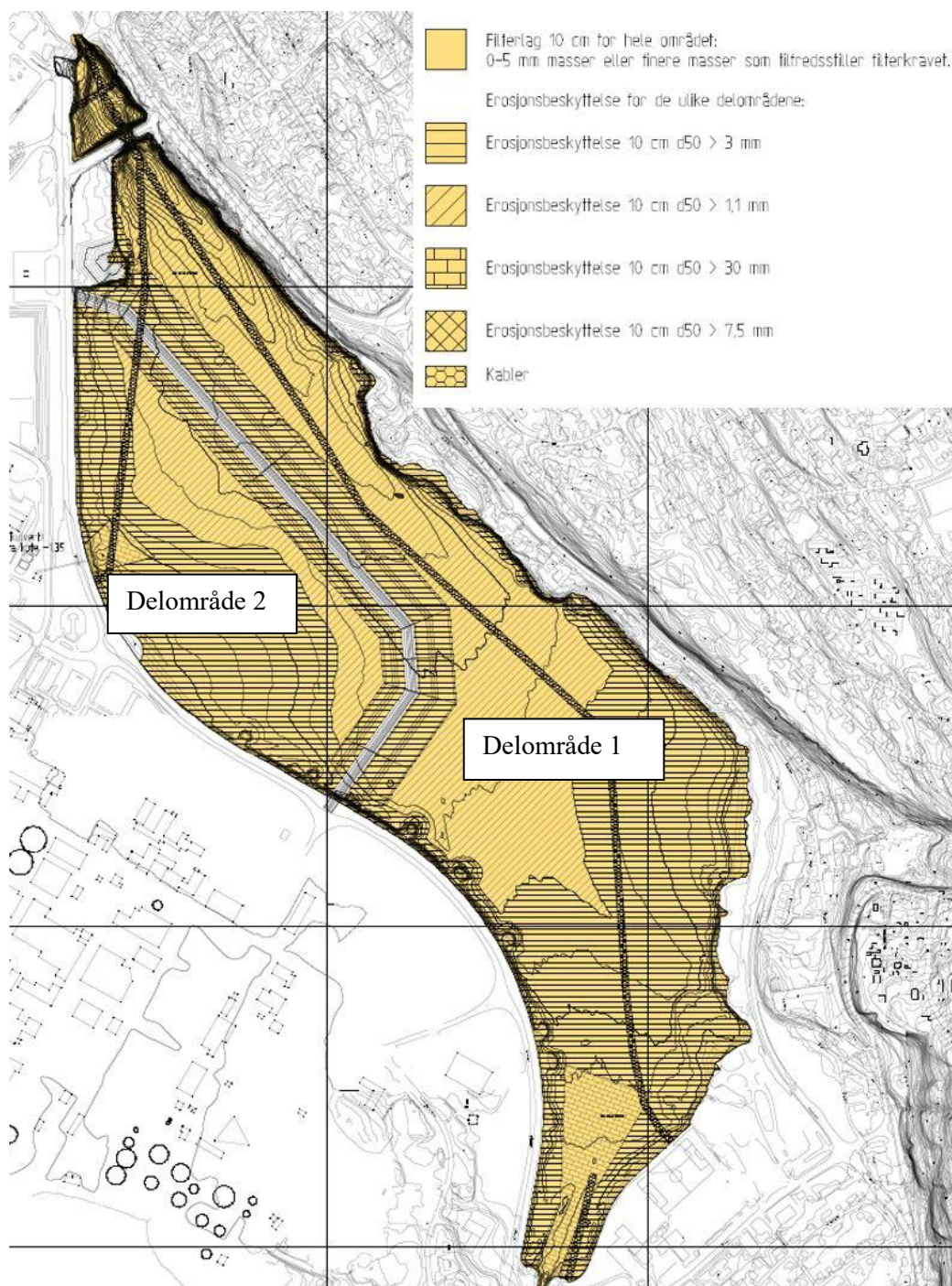
1.5 Grunnlag for tildekkingsløsning

Grunnforholdene i Gunneklevfjorden er spesielle, både fra et miljøteknisk og et geoteknisk perspektiv. Det er svært høye konsentrasjoner av kvikksølv og dioksiner som skal tildekkes, samtidig som sedimentene er svært bløte og med lav bæreevne. Tildekkingen er i tillegg designet med et erosjonslag på toppen for å motstå erosjon fra tidevannsbevegelser og båtrafikk. En geoteknisk utfordring har vært å maksimere tykkelsen på sandlaget for å oppnå så god isolasjon av miljøgiftene som mulig. Dette har vært løst ved å legge ut de mineralske tildekkingsmassene i flere tynne lag, samt bruke en utleggingsmetode der sandmassene slammes opp i vann og sedimenterer

fra overflaten slik at mest mulig bevegelsesenergi er tatt ut av de synkende massene før de treffer sjøbunnen.

Det har imidlertid vært beheftet med forholdsvis stor sannsynlighet for brudd ved innsynkning eller horisontal bevegelse i Delområde 2, der det er størst mektighet av slam med dårlig bæreevne samt brattest skråning på sjøbunnen. Risiko for brudd ble ansett som så stor at det var nødvendig å bygge en sjete av steinmasser for å kunne avgrense et brudd med masser i horisontal bevegelse.

I Figur 1-2 er designet for tildekkingen vist med de ulike størrelsene av erosjonsmotstandig topplag samt sjete mellom de to delområdene.



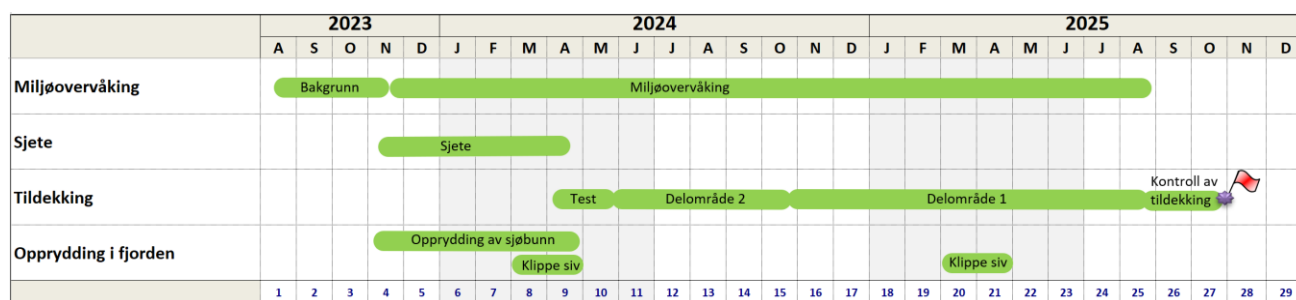
Figur 1-2: Prosjektert tildekkingsløsning for Delområde 1 (øst for sjeteén) og Delområde 2 (vest for sjeteén).

2 Tiltaksgjennomføring

Dette kapittelet beskriver gjennomføringen av de fysiske arbeidene for tiltaket. Hovedoppgavene for tiltaket deles opp i forberedende arbeider, sjete, tildekking og opprydding i fjorden.

Tiltaksgjennomføringen startet i august 2023 med bakgrunnsmålinger, før oppstart av arbeid i sjø i november 2023. Videre fulgte etablering av sjete og opprydding av sjøbunnen frem til våren 2024.

Tildekking av sjøbunnen startet med en test av utstyret, før selve tildekkingen startet i mai 2024 og ble avsluttet høsten 2025. Tidslinjen er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1: Tidslinje gjennomføring

2.1 Forberedende arbeider

2.1.1 Lastekai

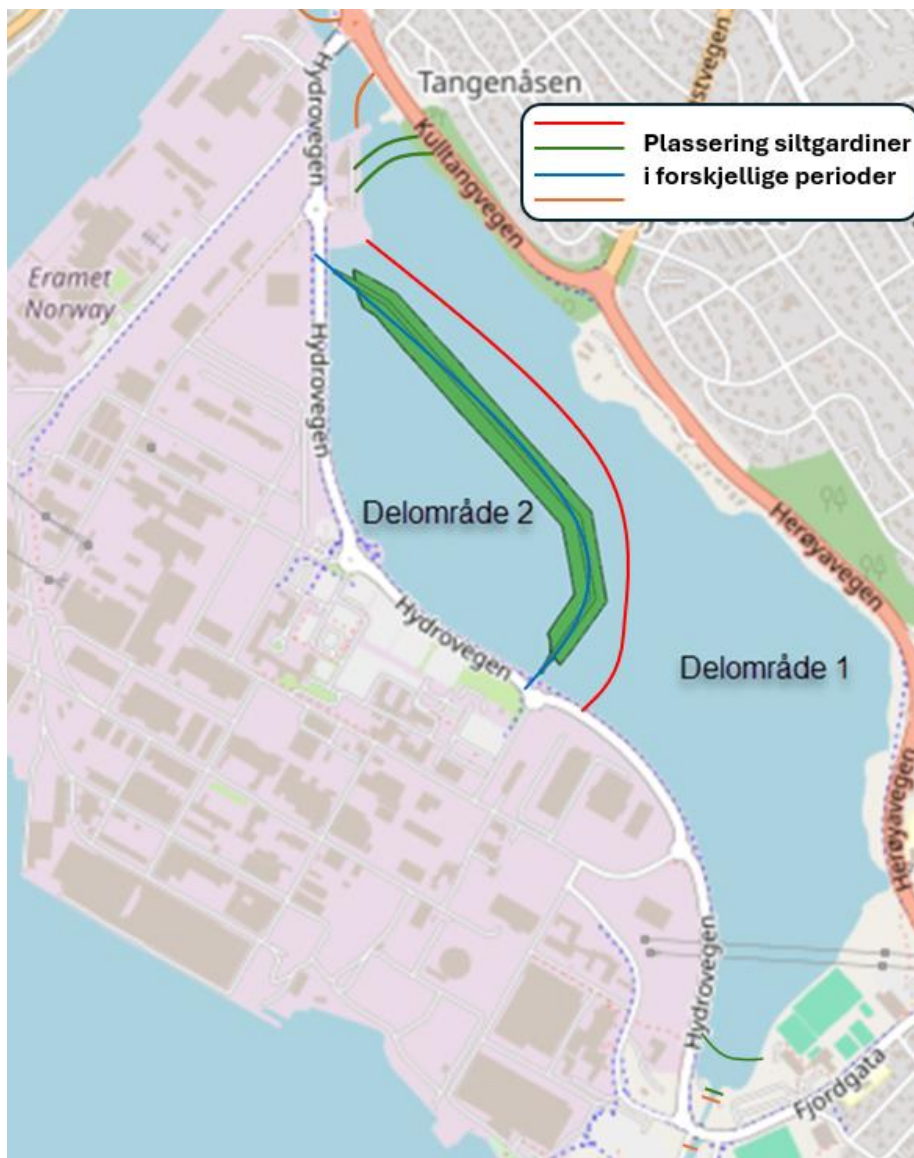
Grunnet Gunneklevfjordens utforming med lave bruer var det nødvendig å etablere en midlertidig lastekai i fjorden for å kunne laste på dumpelektere med masser. Lastekaien ble etablert på riggområdet, på eksisterende utfylling. Etablering av lastekai er gjennomført på HIP (Herøya Industripark) sin eiendom og er utført i rene utfylte masser. For tiltaket med etablering av midlertidig lastekai ble det innhentet gravetillatelse fra HIP og Geomatikk for et begrenset volum, omfattet av HIPs driftstillatelse. Under bygging av lastekaien ble det etablert siltgardin lokalt rundt fyllingen.

2.1.2 Siltgardin

Siltgardiner er brukt i prosjektet for å hindre partikkelspredning ut av tiltaksområdet. Før oppstart av sjete og tildekkingsarbeider ble det etablert en stor siltgardin rundt delområde 2. Siltgarden var ca. 1,1 km lang og 4-8 m høy. Det ble lagt ut siltgardiner i 200 m seksjoner som ble lagt med 10 m overlapp. Siltgardinene ble sydd sammen av dykkere.

Repstad Anlegg har gjennomført daglig kontroll av siltgardinene fra og med siltgardinene er satt ut. Kontrollen loggføres i eget kontrollskjema og inneholder en sjekkliste. Loggføringer for kontroll av siltgardin er vist i Vedlegg A.

Underveis i tildekkingsarbeidene ble det besluttet å i tillegg installere to siltgardiner i hvert av fjordens utløp. Siltgardinene ble plassert i områder med minst strøm og flyttet etter hvert som tildekkingen skulle gjennomføres i området der gardenen var plassert. Oversikt over plassering av siltgardinene er vist i Figur 2-2.



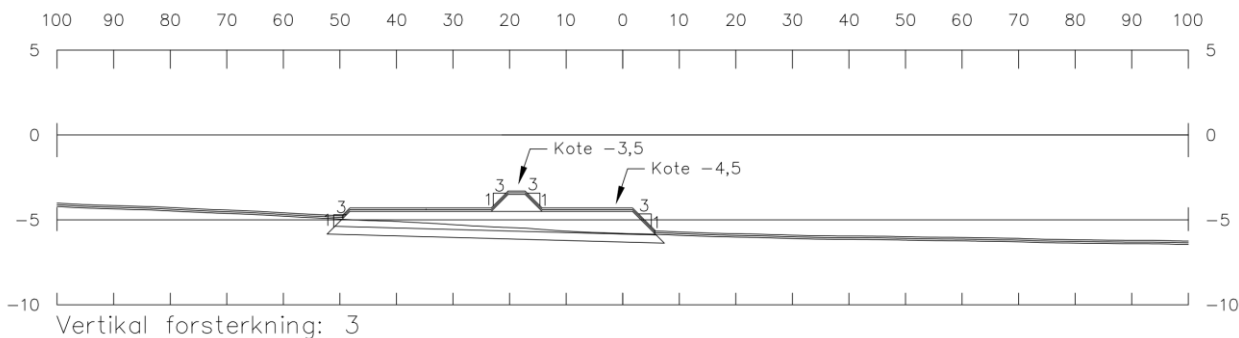
Figur 2-2: Omtrentlig plassering av siltgardiner underveis i gjennomføringen

2.1.3 Dokumentasjon på masser

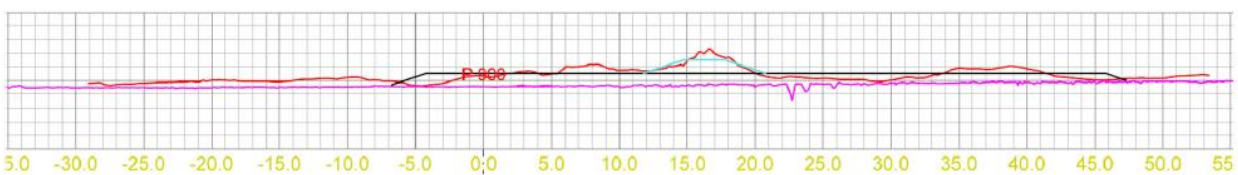
Massene som er brukt i tildekkingsarbeidet har tilfredsstilt veileder M-411 «Testprogram for tildekningsmasser». Dokumentasjon på tildekningsmassene er vist i Vedlegg B.

2.2 Sjete

Sjeteen er ca. 60m bred og når opp til 3,5m under vannoverflaten slik vist i Figur 2-3 og Figur 2-4. Bunnlaget av sjeteen består av rene masser med størrelse på 100-500 mm for å kunne penetrere slamlaget og sjøbunnen for å få god heft. Resterende del av sjeteen er bygget opp av 0-500 mm masser.

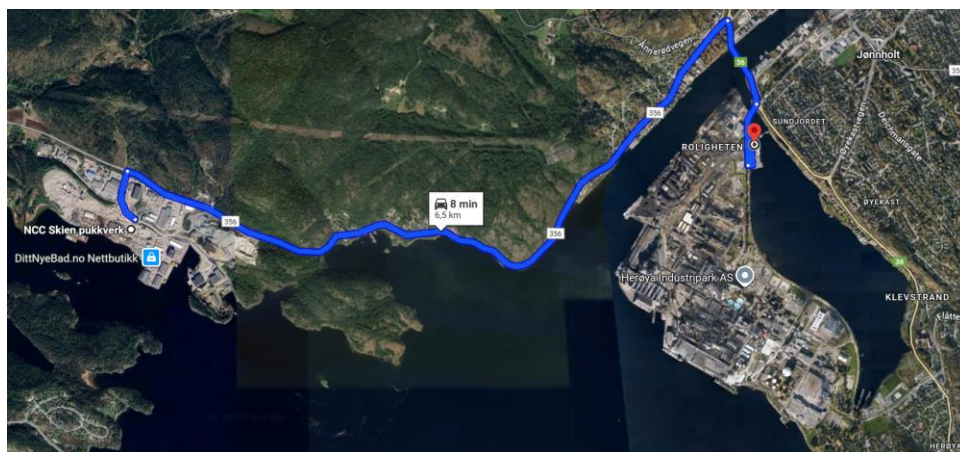


Figur 2-3: Prinsippskisse sjete



Figur 2-4: Snitt av scannet sjete (rød) over prosjektert (sort og lyseblå) og jomfruelig sjøbunn (lilla)

Massene er hentet fra NCC Pukkverk Skien, som ligger 6,5 km fra anleggsområdet for tiltaket, vist i Figur 2-5. Pukkverkets lokalitet og nærhet til Gunneklevfjorden er gunstig mtp. nærmiljø og trafikksikkerhet. For bunnlaget av sjeteen ble massene sortert manuelt av gravemaskin og hjullaster på pukkverket for å oppnå kravet til 100-500 mm.



Figur 2-5: Kjørerute sjete og tildekkingsmasser

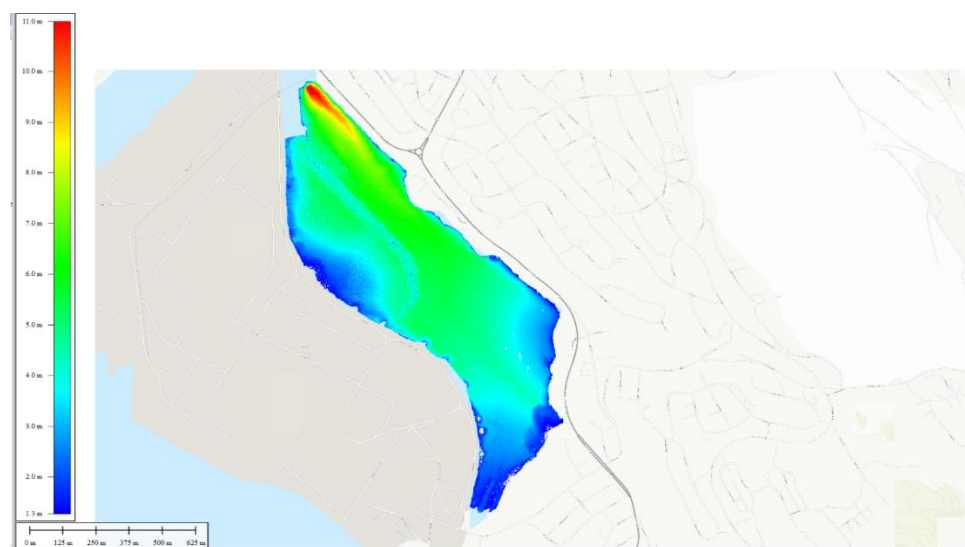
Sjeteen ble bygget ved hjelp av to dumpelektere og en taubåt. En dumpelektre ble fylt på ved hjelp av gravemaskin som stod plassert på lastekaia, mens den andre ble tauet av taubåten (Figur 2-6).



Figur 2-6: Påfylling av lektre fra lastekai

Oppbyggingen av sjeteen ble utført etter et inndelt grid-system, der hvert avgrenset felt fikk et unikt identifikasjonsnummer tilpasset volumet som kunne håndteres per lektelast. Hvert gridnummer ble registrert og loggført av kapteinen som gjennomførte utleggingen, slik at plassering og fremdrift kunne dokumenteres. Dumpelaggen er vist i Vedlegg C. For kontroll av det utførte arbeidet av sjeteen ble det skannet etter hvert lag av sjeteen. Dumpeplanen er laget basert på tidligere erfaringer med spredning av masser ved den spesifikke lektertypen. I dette tilfellet er det benyttet fallbunnslektere med hastighet tilpasset å spre dette på 40 meter. Kassene er derfor laget 5m x 40m. Oversikt over område for utlagte masser er vist i Vedlegg D.

Figur 2-7 viser scanning av fjorden etter sjete og tildekking er utført. Figuren viser sjeteen ligge som en mur rundt delområde 2 på -3,5m under vannoverflaten. Totalt er det lagt ut over 283 000 tonn med stein for bygging av sjete.



Figur 2-7: Dydbekart fra scan etter bygging av sjete, sjeteen synes i lys blå kontur.

2.2.1 UXO (Unexploded ordnance)

ADEDE har gjennomført historiske undersøkelser omkring udetonerte eksplosiver (UXO, Unexploded ordnance) i Gunneklev-området. GeoPhysix har utarbeidet en rapport med tittelen "Retolkning av SBP (sub-bottom profiler)-data og bruk av magnetometer for å kartlegge potensielle eksplosiver fra 2. verdenskrig i Gunnekleivfjorden, Herøya i Porsgrunn kommune." Risikoen for å treffe på og detonere UXO i Gunnekleivfjorden er vurdert som svært lav. Det ble uansett avholdt en risikogiennomgang med deltakere fra Forsvarsbygg med erfaring fra UXO i andre prosjekter. Det ble utført analyser på konsekvensen ved en detonering. Det ble konkludert at bunnlaget på sjeteen skulle utføres med risikoreduserende tiltak. Tiltaket går ut på at det opprettholdes en avstand på 10 m mellom dumpelekter og taubåt (Figur 2-8). Kontroll av lekteren utføres med fjernstyring fra taubåten.



Figur 2-8: Dumpelekter med avstand til taubåt.

2.3 Klargjøring for tildekking

2.3.1 Opprydding av Gunnekleivfjorden

Før oppstart av tildekkingen ble det foretatt rydding av strandsonen og sjøbunnen. Ryddingen ble gjennomført med lettboat eller lekter og slepebåt og arbeidet ble startet sør i Gunnekleivfjorden. Det ble det hentet opp avfall, som blant annet handlekurver, sykler, dekk, barnevogner, plastrør, metalleder og diverse annet skrot (Figur 2-9). Avfallet ble levert til mottak. Det ble også hentet opp båter. Det er estimert at det ble hentet opp 35-40 båter. Mange av båtene har vært i deler og blir dermed vanskelig å oppgi eksakte tall. Se Figur 2-10 for illustrasjon av noen av båtene som ble hentet opp.



Figur 2-9: Skrot hentet fra sjøbunnen



Figur 2-10: Båter hentet fra sjøbunnen

2.3.2 Kutting av siv

I områdene rundt Gunneklevfjorden er det sivområder som blant annet brukes som hekkplasser for fugl. Takrør ble i 2019 analysert av NIVA for kvikksølv, arsen, bly, kadmium, kobber, krom, nikkel og sink. Resultatene viste at takrørene kan deponeres som hageavfall.

Før hekkesesongen startet ble det i mars-april 2024 kuttet siv i disse områdene. Dette ble gjort for å forhindre fugler å etablere reirplasser og at det skulle være mulig å komme til for tildekking og arbeid i disse områdene. Kuttingen av siv ble gjennomført av Amfibieservice, og sivet ble tatt opp på land og levert som hageavfall til godkjent mottak (Figur 2-11). Sivet vokste raskt opp igjen og deler av sivet var nødvendig å kutte på nytt våren 2025.



Figur 2-11: Båter brukt for kutting av siv

2.4 Tildekking

På bakgrunn av de geotekniske forholdene ble tildekkingen gjennomført med fire lag av 5 ± 2 cm, hvor de to nederste lagene fungerer som filterlag og de to øverste som erosjonslag.

Filterlagene ble i sin helhet lagt ved å pumpe masser ut i vannoverflaten som sank skånsomt ned til bunnen. Erosjonslag med siktekurve på $d_{50} > 7,5$ mm er for store til å pumpes og må legges ut med gravemaskin fra lekter.

2.4.1.1 Siktekurver

Massenes størrelse og siktekurve inngår i den prosjekterte designet på tildekkingen. Siktekurver for massene som var ferdig produsert ble levert før oppstart og var inkludert i dokumentasjonen for tildekkingsmassene. For massene som ble produsert underveis er også siktekurver levert underveis. Siktekurvene ble gjennomgått underveis når massene ble levert og gjennomgått i ukesmøter. Siktekurvene er vist i Vedlegg E. Eksempel på siktekurver er vist i Figur 2-12.

For 0-2 mm, 0-5 mm, 0-32 mm og 0-63 mm har det ikke vært noen utfordringer med kornfordeling iht. til det prosjekterte designet. For 0-8 mm med en d_{50} på min 3 mm har det vært utfordrende å finne riktig kornfordeling. Dette er en fraksjon som typisk har en d_{50} på mellom 1,5-2 mm og det

LEIR	SILT			SAND			GRUS							
	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov					
US Standard Sikt				200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1.5"	3"
ISO Standard Sikt				0.075	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63

% Passert

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

— A

- - - B

- · - C

- - - D

x D50 = 1.1mm

x D50 = 3mm

% Passert

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

— E

- - - F

- · - G

- - - H

x D50 = 1.1mm

x D50 = 3mm

Kurve	Hull nr.	Prøve nr.	Dybde m	C _u (d ₆₀ / d ₁₀)	Tele gr.	Leir innh. %	Jordartsbetegnelse	Metode tørr/våt sikt
A	P	78					Grusig sand	Tørr siktig
B	P	92		25.2			Grusig sand	Tørr siktig
C	P	103					Grusig sand	Tørr siktig
D	P	109		12.2			Grusig sand	Tørr siktig
E	P	115		20.0			Grusig sand	Tørr siktig
F	P	119		24.7			Grusig sand	Tørr siktig
G	P	123		21.0			Grusig sand	Tørr siktig
H	P	129		19.3			Grusig sand	Tørr siktig

Rev. 3 / Dato 2020-04-29 / Side 01

P:\2017\06\20170636\Gravetingsmetode\Tilbedingsmetode\Utskrift\Gravetingsmetode\grav_0-5_plot_2.docx(Plot-vers)

0

Kornfordelingskurver

Skutevikåsen 0 - 5 mm

Dokumentnr.
20170636

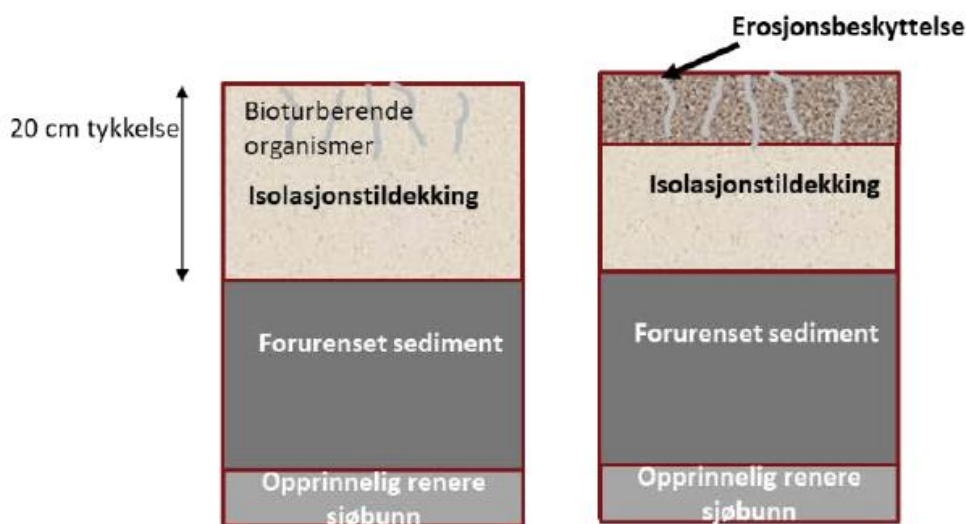
Figurnr.
4.05

Dato
2024-02-08

Tegnet av / Kontr.
KWL/VG

2.4.2 Tildekking ved pumping av masser

Tildeckingslaget av minimum 20 cm er bygget opp av fire lag a 5 cm der de to nederste lagene, kalt filter eller isolasjonslag, har som formål å isolere det forurensete sedimentet. Filterlagene består av svært fine masser med kornstørrelse på 0-2 mm. De to øverste lagene, kalt erosjonslag, har som formål å beskytte filterlaget og isolere sedimentene (Figur 2-13). Erosjonslaget har forskjellig kornstørrelse, slik vist på Figur 1-2, avhengig av hastigheten på bunnstrømmene.



Figur 2-13: Illustrasjon over de ulike lagene.

Pumping av masser for tildekkingen ble utført ved en stegvis prosess. Massene ble mellomlagret på anleggsområdet ferdig sortert fra pukkverket basert på hvilket lag (filter eller erosjon) som skulle legges ut. Massene ble så plassert i en tipplomme som førte massene til et transportbånd. Transportbåndet førte massene over i et blandekar der vann og masser ble blandet sammen før det ble pumpet ut til utleggingsfartøyet. Transportbåndet har innebygd vekt og hastighetsregulering for å justere mengden masser som hele tiden ble ført ut til fjorden. Stegene i tildeckingsprosessen er vist i figur Figur 2-14.





Figur 2-14: Topp t.v.: tippomme, topp t.h.: blandekar, bunn t.v. pumper, bunn t.h. utleggingsfartøy.

I forkant av oppstart av tildekkingsarbeidene ble det gjennomført funksjonstester og kontroll av utstyr og spredningsegenskaper i fjorden. Her ble gjort målinger av massens vekt, tetthet og anbrakte volum under vann for justere inn riktig hastighet på transportbåndet og utleggingsfartlyet. Testene ble kontrollert med kjerneprøver og målepinner. Disse prøvene dannet grunnlag for justeringer som sikret god fordeling av massene på sjøbunnen.

Utleggingsfartøyet var en katamaran der akterpropellen var fjernet fordi den stakk for dypt i vannet. Akterpropellen var erstattet med to påhengsmotorer som satt høyt i vannet. Hastigheten ble justert med en vinsj som sto på land, mens sidestyringen ble gjort av to baugthruster.

Utleggingen fulgte en planlagt ruting med parallelle utleggingsstrenger, og hele tiltaksområdet ble dekket i flere omganger for å oppnå ønsket samlet lagtykkelse. For å sikre god overlapp og jevnhet mellom lagene ble utleggingslinjene parallellforskøvet for hvert lag. Fartøyet var utstyrt med posisjons- og navigasjonssystem som muliggjorde presis styring av utleggingen i henhold til planlagt mønster. Det ble laget et eget system med vinsjer for å sikre riktig plassering og fart.

Fremdrift ble dokumentert fortløpende med oppdaterte innmålingsdata fra utleggingsfartøyet. Tykkelsen på tildekkingslaget ble kontrollert med kjerneprøver for hvert lag som ble lagt ut (se kapittel 4 for mer informasjon).

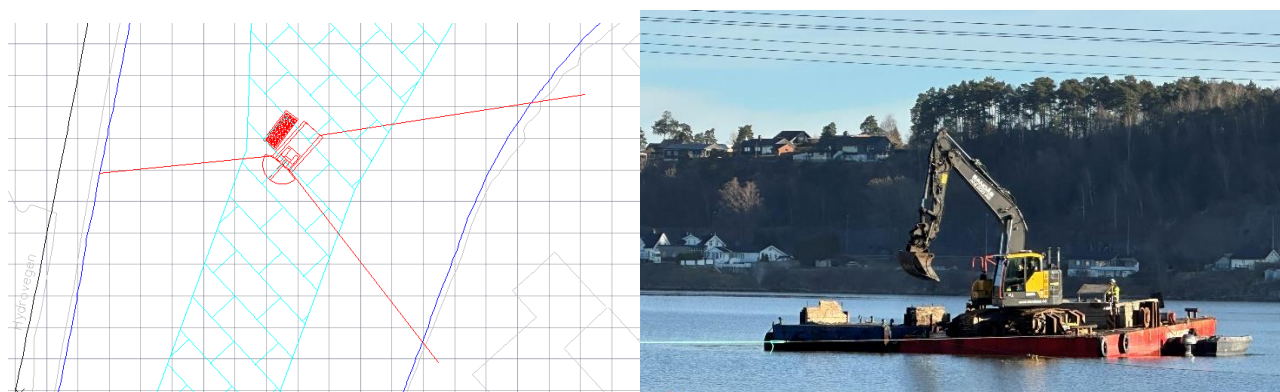
2.4.3 Tildekking med gravemaskin på lekter

I enkelte områder der prosjekterte masser besto av grovere fraksjoner, ble utleggingen gjennomført med egnet utstyr fra lekter. Løsningen var tilpasset de lokale forholdene og benyttet for å sikre tilstrekkelig tykkelse og stabilitet i tildekkingslaget.

Med gravemaskin fra lekter ble det lagt ut 10 cm med erosjonslag i ett. Lekteren ble holdt stabil ved hjelp av vaiere slik vist i Figur 2-15. Massene ble lastet på en mindre lekter som ble frakten til

og fra anleggsplassen der den lille lekteren ble lastet med nye masser. Gravemaskinen gjennomførte arbeidet med bruk av GPS-basert maskinstyring for nøyaktig plassering av massene.

Mengde og fremdrift ble fortløpende fulgt opp gjennom vektregistreringer og dokumentasjon fra maskinstyringssystemet. Dataene ble ukentlig sammenstilt for å kontrollere at utleggingen var i samsvar med prosjektert tykkelse og utbredelse. Området ble i tillegg skannet flere ganger i løpet av arbeidet for å kontrollere resultatet og bekrefte at tildekkingen hadde lagt seg jevnt og i tråd med planlagt utforming. Se Vedlegg F for mer informasjon om loggføringen.



Figur 2-15: Venstre: Skisse av gravemaskin på leker. Høyre: Utlegging med graveleker

2.4.4 Tildekking av strandsoner

I enkelte deler av fjorden er det så grunne områder at det har vært nødvendig å tilpasse tildekkingsmetoden for å unngå grunnstøting av fartøyet eller oppvirvling av sedimenter fra propellene. Flere alternative tildekkingsmetoder ble vurdert, blant annet tildekking fra land eller ved bruk av høytflytende lenser. Den valgte løsningen innebærer at massene kastes foran utleggingsfartøyet (rainbowing), koordinert med høyvann (Figur 2-16). Metoden er basert på et enkelt prinsipp, men krever redusert hastighet slik at mengden masser kan justeres for å sikre tilstrekkelig kastelengde.

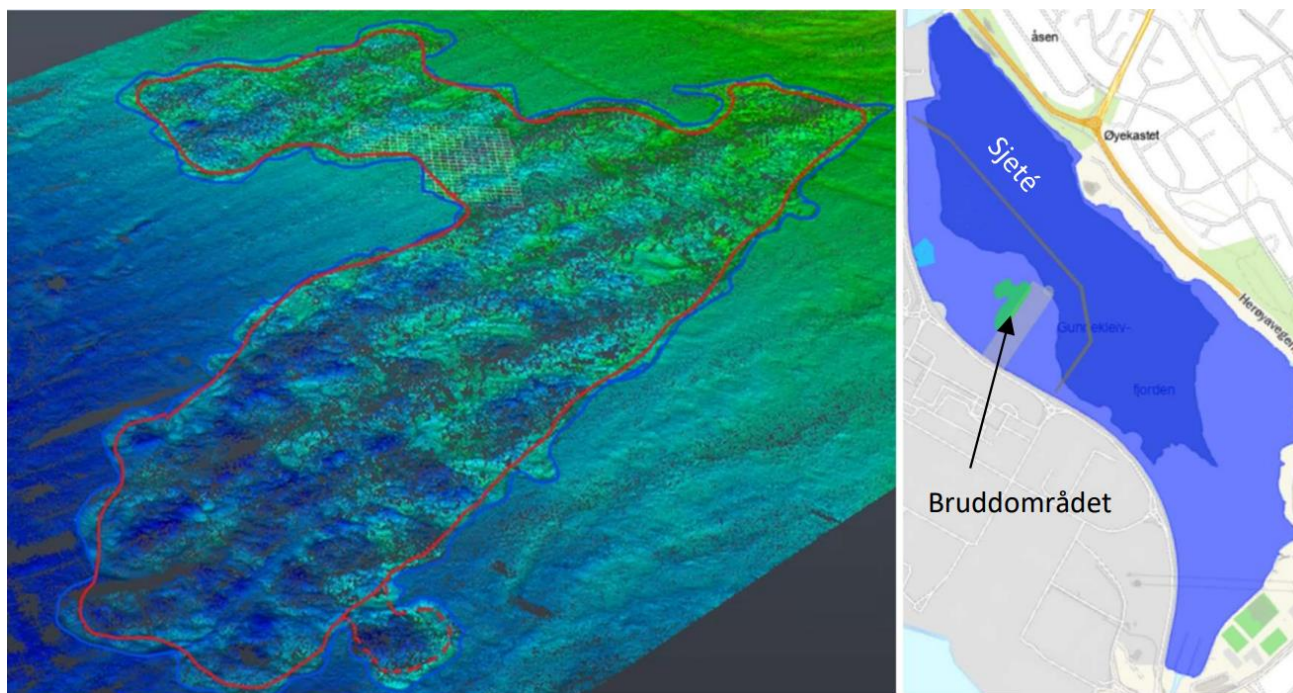


Figur 2-16: Tildekking av grunne områder med rainbowing.

2.4.5 Tildekking av innsynkning i tykkslamområdet

I oktober 2024 ble det oppdaget en innsynkning av tildekkingsmasser på et område på cirka 5300 m² i tykkslamområdet (Delområde 2). På dette tidspunktet var alle de fire lagene med tildekkingsmasser allerede lagt ut. Området ble først identifisert etter at kjerneprøver viste at tildekkingsmassene hadde blandet seg med det underliggende slammet. Det ble utført flere sjøbunnsskanninger i området som viser utstrekningen av bruddområdet (Figur 2-17). Mer detaljer om undersøkelser av innsynkningen er vist i Vedlegg G og NGIs miljørisikovurdering knyttet til reparasjonsarbeidene [6].

Resultater fra undersøkelsene indikerer at innsynkningen er begrenset til det området som er identifisert gjennom scanning av sjøbunnen, og det er ikke påvist spredning av forurensninger utenfor dette området. Området som har sunket inn i tykkslamområdet utgjør 0,7% av fjordens totale areal ($5.300/770.000=0,7\%$).



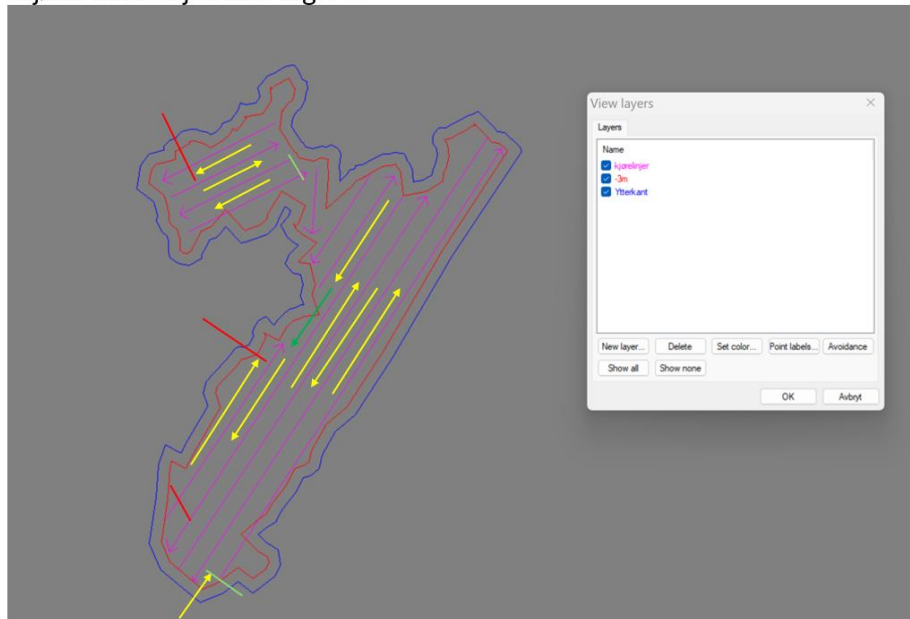
Figur 2-17: Sjøbunnsskanning av bruddområdet (rødt omriss t.v.) og bruddområdeplassering (grønt område, t.h.)

Basert på geotekniske begrensninger ble det vurdert at bruddområdet kun tåler et tildekkingslag på ca. 3 cm (Vedlegg G, [6]). Under utførelse var det viktig å oppnå jevnhet og samtidig unngå at det legges ekstra masser på tilstøtende arealer som allerede er tildekket med 20 cm. Det ble derfor anbefalt en 3 m bred overgang langs bruddområdets randssone der det ikke legges ut tildekkingsmasser. Den utildekkede randsonen utgjør ca. 0,05% av fjordens areal. Videre ble det anbefalt å benytte fraksjon 0-2 mm eller 0-5 mm. Det forventes begrenset styrkeoppbygging etter at 3 cm er lagt ut, noe som innebærer at det er lite sannsynlig at det vil være forsvarlig å legge ut ytterligere lag på et senere tidspunkt, selv med et lengre konsolideringsforløp.

På grunn av områdets utforming og de spesielle forutsetningene for arbeidet, ble det utarbeidet en egen gjennomføringsplan som beskrev fremgangsmåte, sikkerhetsvurderinger og kontrolltiltak. Utleggingen ble gjennomført med fokus på presis plassering og lav belastning på underlaget. Arbeidet ble utført etter et forhåndsdefinert mønster for å sikre kontrollert utlegging og for å unngå masseavsetning for nær kanten av bruddet (Figur 2-18). Tiltaket ble supplert med etablering av siltgardin rundt hele delområde 2 for å begrense eventuell spredning av partikler under arbeidet. I forkant av gjennomføringen ble det også gjennomført beregninger og justeringer av relevante prosessparametere for å sikre at ønsket tykkelse og fordeling ble oppnådd uten å overstige stabilitetsgrensene for området.

Kjøremønster

Kjører etter linjer etter lag 4-4



Rask kjøring med vinsj (15m/sek) for å begrense utlegging. Det blir da ca. 1cm sand på bunn

Retning tildekking

Markering start

Markering stopp

Figur 2-18: Kjøremønster for tildekking av innsunken område

Oppfølging underveis av tildekking av området bestod av:

- Scan før utlegging
- Scan etter utlagt område
- 10 kjerneprøver samtidig som utlegging

Tiltaket ble gjennomført uten videre utfordringer og er gjennomført iht. beskrivelse over med 3 cm tildekking i innsynkingsområdet.

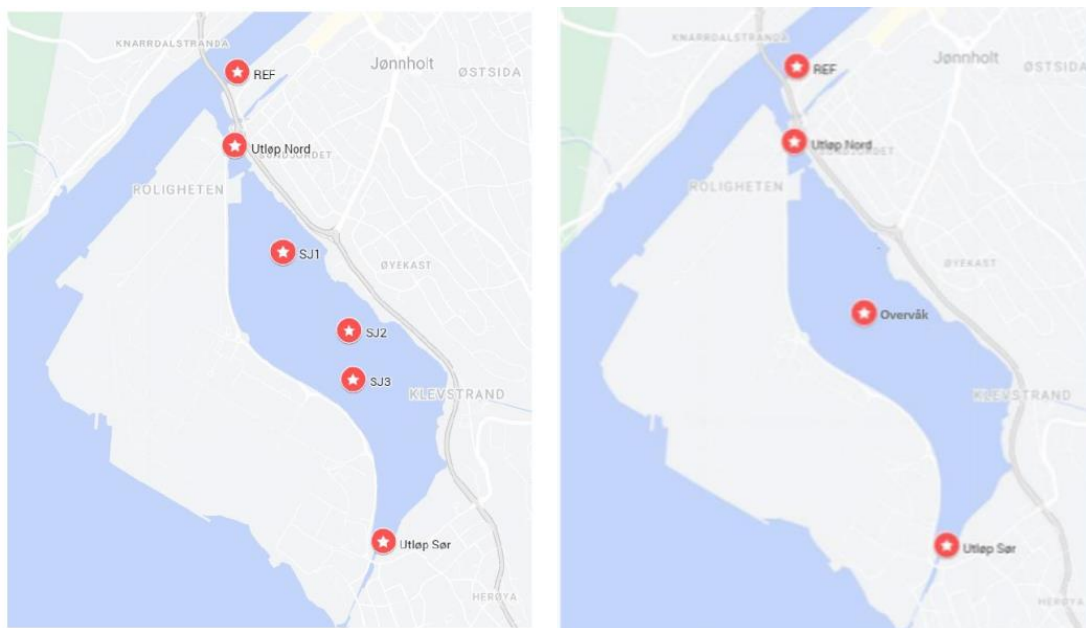
2.5 Tiltak for støvreduksjon

I anleggsperioden har det vært en del aktivitet på byggeplass som kan skape utfordringer med støvflukt. I hovedsak gjelder dette ved omlasting og transport av masser. For å redusere påvirkningen er det satt inn tiltak med vanning av området i tørre perioder for å hindre støvflukt.

3 Miljøovervåking

3.1 Bakgrunnsmålinger

Før oppstart av arbeidene ble det laget et detaljert program som beskriver hvordan entreprenøren skal gjennomføre bakgrunnsmålinger før oppstart av arbeider i sjø, samt overvåking av tiltaket. Dette er beskrevet i kontroll og overvåkningsplanen [4]. Det ble gjennomført bakgrunnsmålinger ved hjelp av turbiditetsmålere, sedimentfeller, passive prøvetakere samt vannprøver før oppstart av arbeidene i sjøen. Overvåkingen av vannkvalitet ble gjennomført i seks stasjoner, mens turbiditetsovervåking ble gjennomført i fire stasjoner (Figur 3-1).



Figur 3-1: Stasjoner for overvåking for tiltak. T.v. overvåking av vannkvalitet, t.h.turbiditetsovervåking.

Bakgrunnsmålingene ga grunnlag for å få oversikt over naturlige nivåer av turbiditet i området og ble brukt for å velge stasjoner til de automatiske bøyene for måling av turbiditet og varsling ved overskridelse av grenseverdi. Referansenivået for turbiditet som ble benyttet ved varslingen av overskredet grenseverdi for turbiditet ble gjort kontinuerlig i en egen referansestasjon.

Bakgrunnsmålingene av miljøgifter før oppstart av arbeidene inngår ved tolkning av konsentrasjoner påvist underveis i arbeidene.

Referansestasjonen ble plassert oppstrøms i Porsgrunnselva i et område som ikke var forventet å bli påvirket av arbeidene. Bakgrunnsmålingene viser at turbiditet før tiltaket startet ligger på rundt 0-2 NTU.

Resultatene fra bakgrunnsmålinger gjenspeiler det høye forurensningsnivået i Gunneklevfjorden. Sedimentfellene viser blant annet kvikksølv i klasse IV-V.

3.2 Overvåkingsmetode, resultater mottatt under tiltaksgjennomføring.

Det er stilt krav til at det skal gjennomføres overvåking av spredning av partikler og miljøgifter i overvåkingsstasjoner før, under og etter tiltak i fjorden. Målinger som gjennomføres iht. krav i pålegg er:

- Turbiditetsmålinger
- Vannprøver
- Partikkelfeller/sedimentfeller
- Passive prøvetakere
- Oppfølging av støy og støv

Krav og prosedyrer for hvordan dette skal måles er beskrevet i kontrollplaner fra byggherre [4] og entreprenør [7].

I tidlige faser av prosjektet (sjetèbygging) ble det inkludert kontinuerlige målestasjoner inne i fjorden. Disse ble brukt som driftsparametere og fjernet da tildekkingen startet. Under tildekking ble de kontinuerlige målestasjonene plassert ved utløpene for å overvåke partikkelspredning ut av fjorden, utenfor ekstra siltgardiner som ble satt opp etter oppstart av tildekking.

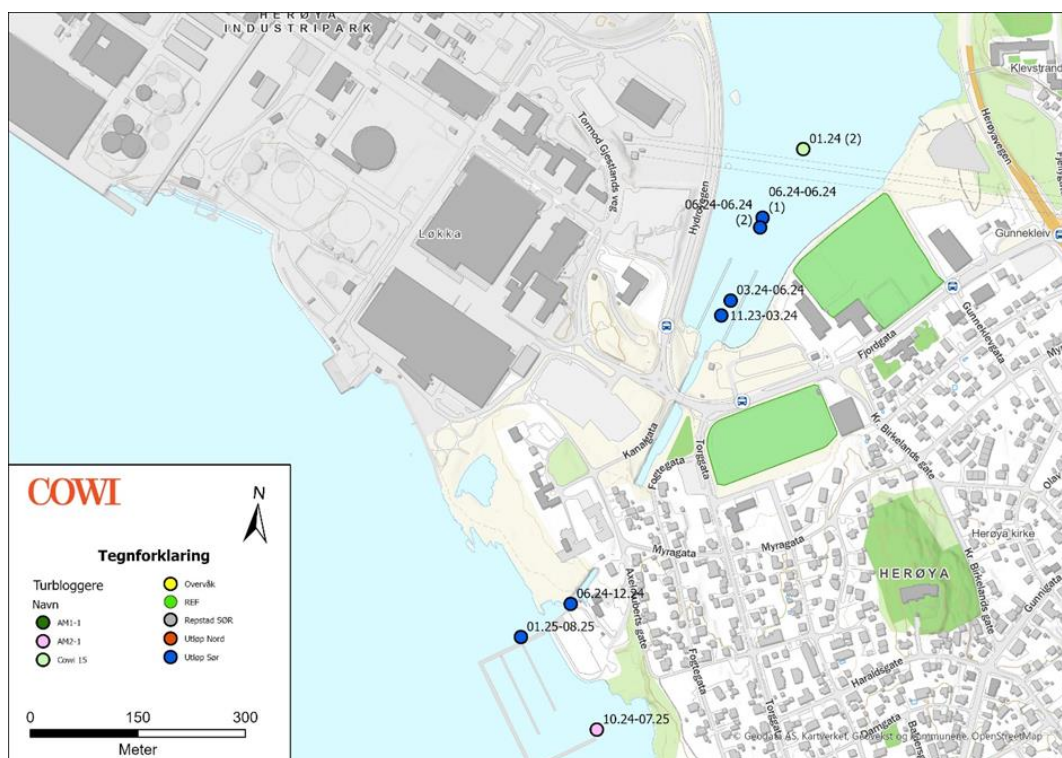
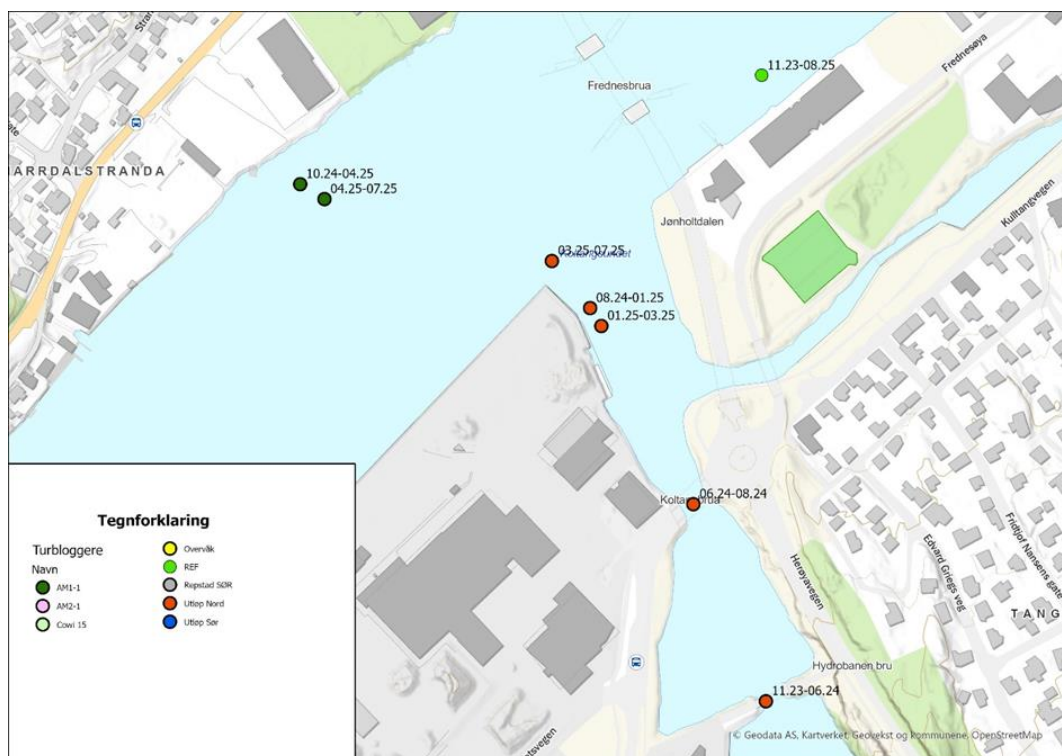
I begynnelsen av november 2024 ble det satt ut to ekstra målestasjoner som måler kontinuerlig turbiditet i hhv. Porsgrunnselva og i Frierfjorden. Disse er ikke koblet til alarmsystemet, men følges opp jevnlig og i forbindelse med økt turbiditet ved utløpene og brukes som en driftsparameter.

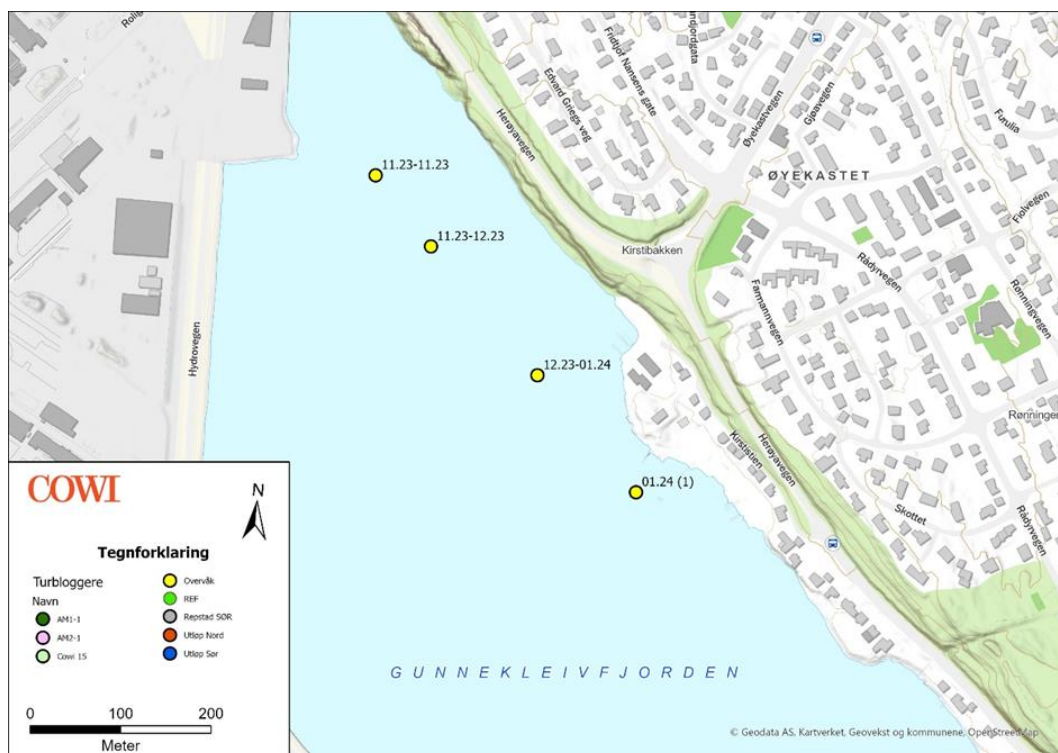
Jevnlig prøvetaking er gjennomført iht. kontroll og overvåkingsprogrammet [4]. Vedlegg H gir en oversikt over alle resultater på de jevnlig prøvetakingene som er gjennomført (hhv. sedimentfeller, vannprøver og passive prøvetakere).

3.3 Turbiditetsovervåking

I kontroll og overvåkingsprogrammet er det beskrevet hvordan turbiditeten overvåkes i de ulike fasene i prosjektet. Dette gjøres med kontinuerlige turbiditetsmålinger og er etter oppstart av tildekking i 2024 supplert med program for manuelle turbiditetsmålinger (profilering). Oversikt over hvor de kontinuerlige turbiditetsmålerne har stått gjennom prosjektperioden er vist i Figur 3-2 til Figur 3-4. Det har vært nødvendig med justeringer av plassering av stasjoner for turbiditet underveis i prosjektet.

For kontinuerlige turbiditetsmålinger har prosjektet en alarmgrense for >20 NTU over 4 timer [2].

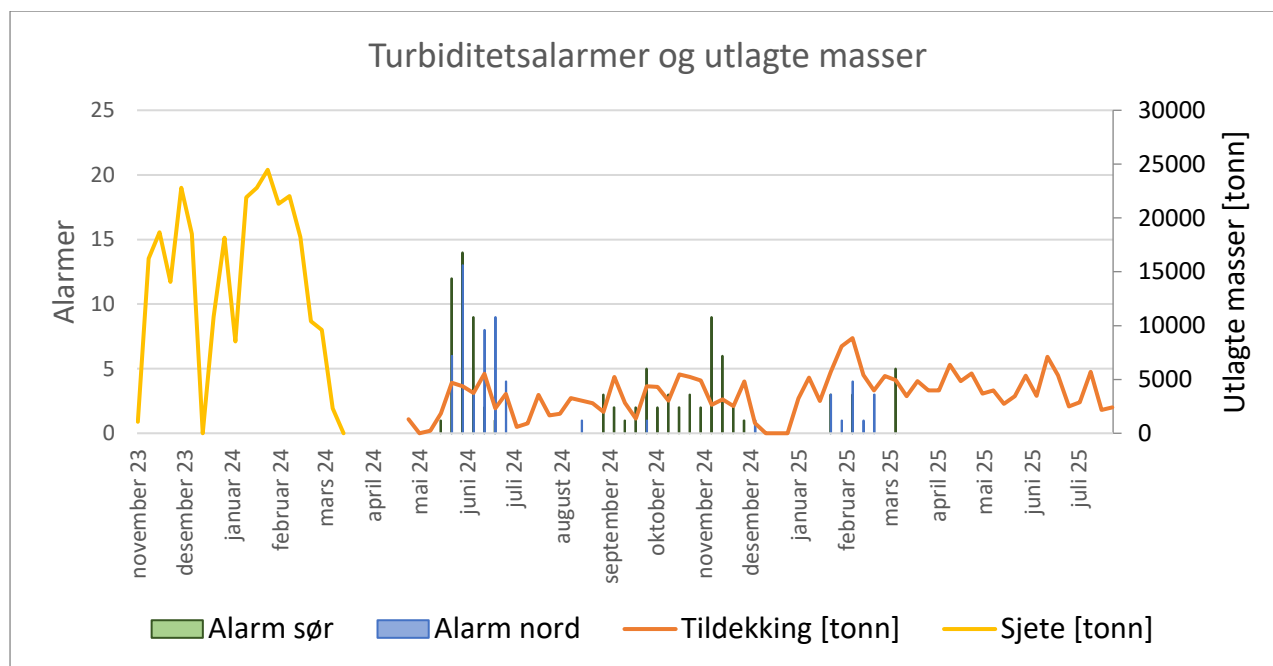




Figur 3-4: Oversikt over plassering for kontinuerlig turbiditetsmåling med periode for plassering i området Gunnekleivfjorden.

Turbiditet målt ved målestasjonene og antall utløste alarmer har variert gjennom anleggsperioden. I Figur 3-5 er det sammenstilt data som viser hva utlegging av masser og hva dette medførte av partikkelmengde i vann og overskridelser av grenseverdi for turbiditet. I tertialrapportene er det vist figurer som presenterer turbiditet målt gjennom perioden med anleggsarbeider. Turbiditeten påvirkes både av mengden masser som legges ut, men også grovheten av massene. Filterlaget (0-2 mm) har det høyeste finstoffinnholdet og medfører høyest turbiditet under utlegging. I siste del av anleggsperioden er det ikke registrert overskridelser av grenseverdi for turbiditet. I denne fasen ble det brukt grovere masser til erosjonssikringslaget med at lavere finstoffinnhold. Ved oppslemming på tildekkingsfartøyet Nero medførte denne massetypen mindre partikler i suspensjon.

En oversikt over alle alarmer, tidspunkt og varighet på eventuell stopp i arbeid er vist i turbiditetslogg i som er i Vedlegg I.



Figur 3-5: Oversikt over alarmer per uke sjete og tildekkingsarbeidene

3.4 Vannprøver

Entreprenørens miljørådgiver tok vannprøver jevnlig ved alle målestasjoner (utløp sør, utløp nord og referanse). Entreprenøren tok vannprøver ved overskridelse av turbiditetsgrense ved utløselse av alarm iht. kontrollprogrammet.

Ved behov ble det også tatt prøver i blandekaret, der det ble pumpet inn vann fra Gunneklevfjorden eller fra saltvannslag i Porsgrunnselva, for å undersøke om det fulgte med forurensning fra området vannet ble hentet fra. Resultatene fra disse prøvene fungerte som driftsparametere for entreprenøren, og ble løpende rapportert i månedsrapporter gjennom prosjektet, samt vedlagt tertialrapportene.

3.4.1 Jevnlig vannprøvetaking

Prøvetaking av vann ble utført av entreprenørens miljørådgiver hver 14. dag i målestasjonene i forbindelse med utsett og opptak av passive prøvetakere, og ved tømning av sedimentfeller. Dette dokumenterer den mer generelle miljøtilstanden under arbeidene, og ikke bare ved episoder med høy turbiditet. Prøvene ble tatt i samme nivå som målere er installert. Vannprøvene ble analysert for kvikksølv (oppsluttet og ikke oppsluttet), HCB, suspendert stoff og turbiditet.

Vannprøvene er vurdert opp mot Miljødirektoratets veileder M-608 og alle resultater er sammenfattet i tertialrapportene.

Vannprøvene viser at det ikke er påvist kvikksølv eller HCB (brukes som indikator for dioksiner) under arbeidene. Dette viser at partikler i vannet har vært rene, og at episoder med overskridelse av grenseverdi ikke har medført spredning av miljøgifter til områder utenfor Gunneklevfjorden.

3.4.2 Prøvetaking ved alarm

Ved turbiditetsalarm er det iht. kontroll- og overvåkingsprogram tatt vannprøver ved måleren som viser alarm og i samme dyp som måleren står plassert. Vannprøvene analyseres for kvikksølv og HCB, samt turbiditet.

Resultatene for vannprøver tatt ved stopp i arbeid (eventuelt dagen etter ved alarm utenom arbeidstid) i tidligere tertialrapporter. Analysene viser at det ikke påvises kvikksølv og HCB ved disse hendelsene. Det har ikke vært alarmer i siste tertial 2025 (sep-des).

3.5 Passive prøvetakere

For å overvåke den fritt løste og biotilgjengelige fraksjonen i vannfasen av flere miljøgifter enn de som analyseres i vannprøvene i Gunneklevfjorden under tiltak, har det blitt benyttet passive prøvetakere.

Følgende prøvetakere benyttes for de ulike parametre:

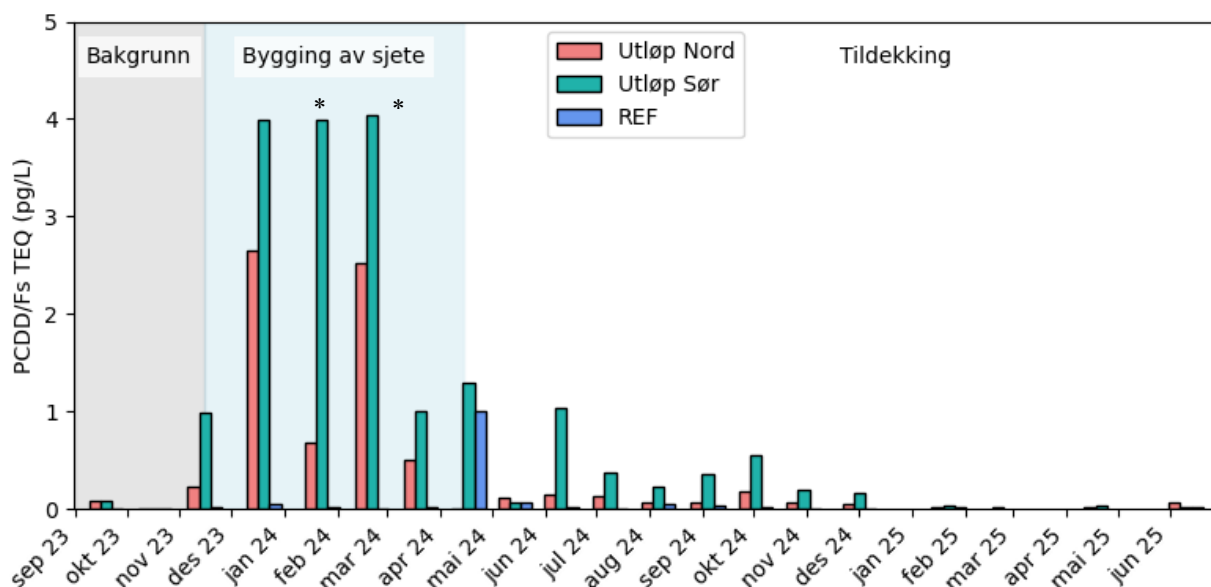
- SPMD brukes for å bestemme biotilgjengelig andel av dioksiner, furaner og tinnorganiske forbindelser inkl. TBT.
- POM er benyttet for å overvåke konsentrasjoner av organiske forbindelser som polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) og polyklorete bifenyl (PCB)
- DGT er benyttet for måling av kvikksølv

Målestasjonene for passive prøvetakere sammenfaller med målestasjoner for sedimentfellene, og har vært plassert inne i utløp nord, utløp sør og i referansestasjonen. Måling med passive prøvetakere gir den løste andelen av miljøgiftene, dvs. Den andelen som er biologisk tilgjengelig.

3.5.1 SPMD

SPMD brukes for å måle vannoppløst dioksiner. Dette er den andelen av dioksinene som er lett biotilgjengelig, og representerer den mer akutte miljørisikoen. Utviklingen av dioksinkonsentrasjoner målt før oppstart (bakgrunn november 2023) gjennom sjete-bygging og under tildekking i 2024 og 2025 vist i Figur 3-6. Figuren viser at høyeste konsentrasjoner ble funnet i fasen med bygging av sjete som tidligere kommentert [8]. I denne fasen medførte slipp av større stein vil en oppvirvling av forurenset sediment samt frigivelse av porevann med oppløste

dioksiner. Mot slutten av prosjektet er konsentrasjonene av løste dioksiner lave. Dette skyldes at mesteparten av Gunneklevfjorden nå har fått minst ett tildekkingslag, og at den tildekkingen som nå legges ut lander på et allerede tildekket areal. Dette gir lite oppvirvling og spredning av miljøgifter. Denne utviklingen er i tråd med det som er forventet, og underbygger at tildekkingen har en positiv effekt og at arbeidene utføres på en god og skånsom måte. TBT ble tatt ut av analyseprogrammet for SPMD i 2025 da laboratoriet sluttet å tilby denne analysen og erstattet med å analysere TBT i de jevnlig vannprøvene.



Figur 3-6: Konsentrasjoner av dioksiner/furaner (sum PCDD/F TEQ lower bound) i SPMD. Kun konsentrasjoner som er påvist over deteksjonsgrensen inngår i den beregnede summen av påviste dioksiner og furaner. Resultater fra overvåkning av oppstart av tiltaket i 2023 er inkludert for sammenligning. Prosjektets faser er indikert (grått = bakgrunn, lyseblått = bygging av sjete, hvitt = tildekking). SPMD i Utløp Sør sto ute en lengre periode fra desember 2023-februar 2024 pga. is på fjorden, og søyler fra disse månedene (*) representerer samme måledata. i.p. = ikke påvist.

3.5.2 DGT

Fritt løst og biotilgjengelig kvikksølv i vannmassene er målt med passiv DGT-prøvetaker i begge utløpene og i referansestasjonen.

Deteksjonsgrensen for konsentrasjonen av kvikksølv fra de ulike DGT-prøvene varierer noe, men resultater av analyserte DGT-er viser at det ikke er påvist kvikksølv over deteksjonsgrensen. Deteksjonsgrenser ligger i tilstandsklasse II. Tilstandsklasse er brukt selv om denne gjelder for totalkonsentrasjon i vann og ikke bare den biotilgjengelige fraksjonen, som måles med DGT.

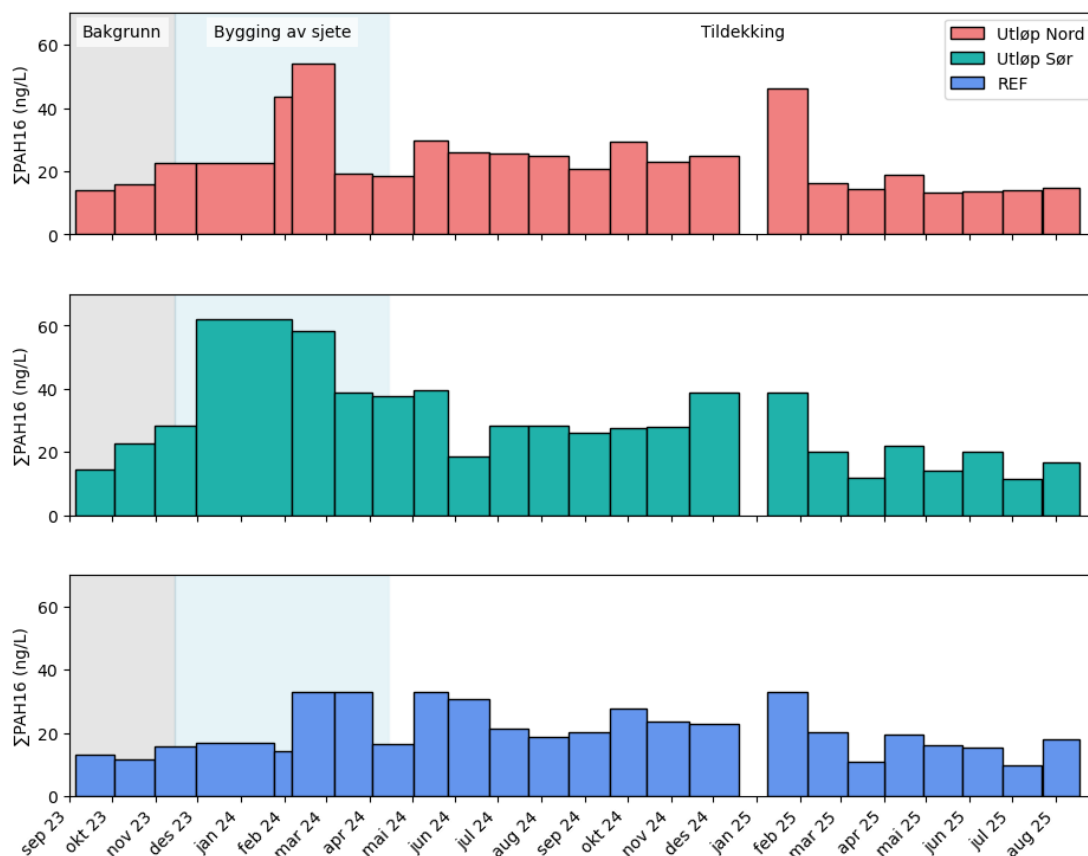
3.5.3 POM

POM er en passiv prøvetaker som bestemmer gjennomsnittskonsentrasjoner av biotilgjengelig PAH i vannsøylen i perioden frem til opptak. Oversikt over resultatene er vist i Figur 3-7.

Høyeste observerte konsentrasjoner sammenfaller med byggingen av sjete, en periode der utleggingen av stein ga oppvirvling av forurenset sjøbunn. Konsentrasjonen av PAH i vann har

imidlertid blitt mindre påvirket av arbeidene i perioden etter dette. Det er en høyere konsentrasjon observert i februar 2025, men samtidig er også referanseverdien høyere.

En av grunnene til at PAH i mindre grad enn dioksiner påvirkes av arbeidene er at konsentrasjonen av PAH i sedimentene ikke er like høye. Gunneklevfjorden er spesielt forurenset med kvikksølv og dioksiner og i mindre grad av PAH.



Figur 3-7: Konsentrasjoner av løst og biotilgjengelig sum PAH-16 fra POM utsatt i referansestasjon (REF) og ved utløpene til Gunneklevfjorden over tid. Bredden på søylene angir periodene hvor POM sto ute. Prosjektets faser er indikert (grått = bakgrunnsmålinger, lyseblått = bygging av sjete, hvitt = tildekking). I slutten av desember 2024 til starten av januar 2025 er det ikke resultater grunnet juleferie og ingen arbeid i fjorden.

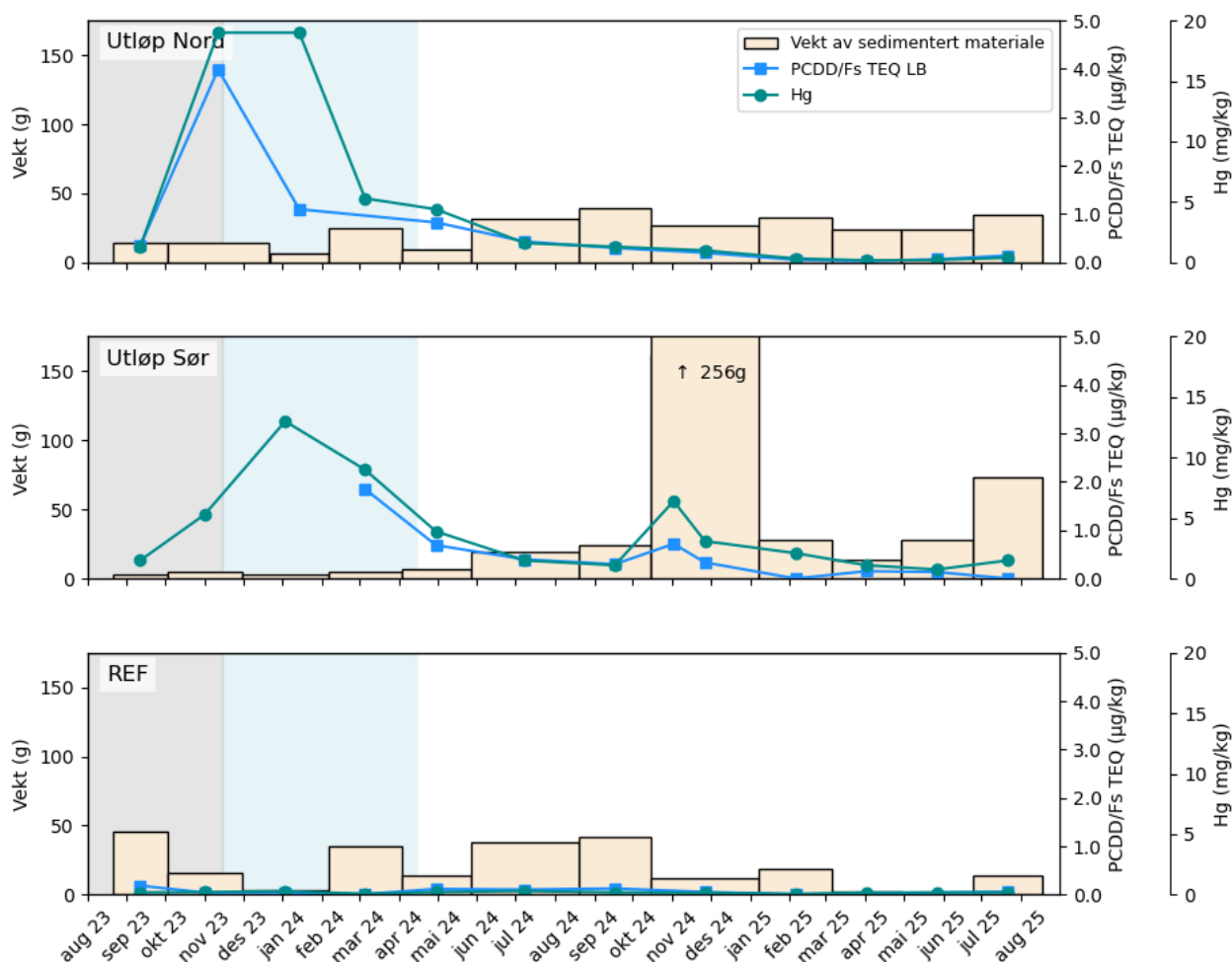
3.6 Sedimentfeller

Sedimentfellene benyttes for å måle mengden partikler og konsentrasjonen av miljøgifter på partiklene som sedimenterer i området.

Sedimentfellene består av to rør opp mot en meter lange og 10 cm i åpningsdiameter og som fanger opp partiklene som er i vannet. Miljøgifter vil i hovedsak være bundet til partikler, og bevegelsene til disse er viktig for spredningen av miljøgiftene. Miljørisiko er primært knyttet til den løste, biotilgjengelige fasen, men det er en potensiell miljørisiko knyttet til partiklene da miljøgiftene kan desorbere og tas opp av organismer. I Figur 3-8 er det vist både mengde materiale som er fanget opp i fellene samt konsentrasjonen av dioksiner og kvikksølv i sedimenterende partikler i referansestasjon (REF) og utløpene til Gunneklevfjorden. Grafene viser utviklingen fra før oppstart av tiltak, under bygging av sjete og videre til tildekkingsarbeidene var ferdige.

De høyeste konsentrasjonene ble observert ved bygging av sjeteen, og dette observeres også for målingene med de passive prøvetakerne. Dette skyldes oppvirvling av forurensede partikler og porevann. Konsentrasjonen av dioksiner og kvikksølv går ned når det gjøres tildekking fordi partiklene som da er i omløp i hovedsak består av partikler fra tildekkingsmassen og ikke fra den forurensede sjøbunnen. Generelt er konsentrasjonen av miljøgifter avtagende i tildekkingsfasen.

November 2024 var det imidlertid en topp i dioksinkonsentrasjonen og kvikksølvkonsentrasjonen ved utløp sør, men ikke ved utløp nord. Det er trolig en lokal hendelse med oppvirvling av forurenset sjøbunn som har forårsaket denne anomalien. Perioden det gjelder var på et tidspunkt da det ble arbeidet i det sørlige området, nær sedimentfellen, og det er en økning i mengden sediment i fellen i denne perioden (den gule delen av grafen). Sedimentfellen var på dette tidspunktet fortsatt plassert inne i fjorden (den ble senere flyttet til Herøyakanalen). Utløpet mot sør var samtidig beskyttet av siltgardiner. Selv om det ble målt overskridelser av grenseverdi for turbiditet i perioden viste vannprøvene konsentrasjoner under deteksjonsgrensen.



Figur 3-8: Konsentrasjon av kvikksølv og sum PCDD/Fs TEQ i referansestasjon (REF) og utløpene til Gunneklevfjorden. Søylenes bredde viser måleperiode. Nedre grense for tilstandsklasse 5 for hhv. dioksiner og kvikksølv er angitt. Prosjektets faser er indikert med bakgrunnsfarger (grått = bakgrunnsmålinger, lyseblått = bygging av sjeté, hvitt = tildekking). Merk at vekt for sedimentfelle utløp sør er 256 gram i okt-nov 2024.

3.7 Oppsummering av overvåking under tiltaket

Overvåkingen har vært effektiv og godt satt opp for å dokumentere vannkvalitet under anleggsarbeidene. Resultatene er logiske i forhold til de arbeidene anlegget har gjennomført. Det ble detektert høy turbiditet spesielt ved håndtering av finkornige tildekkingsmasser, og det ble detektert miljøgifter når det ble jobbet direkte med de forurensede sedimentene. Det ble detektert mindre spredning av partikler og miljøgifter når første lag med tildekking var ferdig og de neste lagene ble lagt på allerede tildekket sjøbunn og ikke rett på forurenset sjøbunn. Overvåkingen av spredningen av miljøgifter viser at det er observert lave konsentrasjoner av biotilgjengelig kvikksølv og dioksiner.

Med bakgrunn i observasjonene fra det miljøtekniske overvåkningsprogrammet konkluderes det med at arbeidene er gjort på en skånsom og effektiv måte og med lav spredning slik at det ikke er blitt noen vesentlig ulempe for tilstøtende områder.

4 Dokumentasjon av resultatoppnåelse

Det skal gjennomføres kontroll av tildekkingslaget i alle delområdene i fjorden umiddelbart etter at tildekkingen er gjennomført. Følgende prøver/målinger skal gjennomføres:

- Utbredelse og tykkelse av tildekkingslaget inkludert erosjonslag i cm, minimum 20 cm.
- Minimum oppnådd mektighet skal dokumenteres i 90 % av prøvene.
- Innhold av miljøgifter skal analyseres på blandprøver av de øverste 10 cm av tildekkingslaget.

4.1 Mektighet

4.1.1 Målemetode

Det ble benyttet kjerneprøvetaker fra Uwitec for opphenting av sedimentkjerner fra sjøbunn. Prøvetakerne hadde forskjellig diameter (60 mm og 90 mm), men prinsippet for prøvetaking er det samme.

Et plastrør ble plassert i prøvetakeren før denne ble senket kontrollert ned til sjøbunnen. Når prøvetakeren traff bunnen, trengte røret ned i sedimentene og fanget opp en kjerneprøve (Figur 4-1). Under opphenting ble en ventil/propp i bunnen av røret lukket, slik at prøven ble forseglet før prøvetakeren ble heist om bord i båt. På denne måten ble sedimentkjernen hentet opp i mest mulig intakt tilstand, der det var mulig å måle total tykkelse på tildekkingslaget.

Prøvene ble tatt med kjerneprøvetaker, løftet om bord, fotografert og posisjonert. Data er ført i målebok hvor GPS lokasjon er registrert. For å minimere opptak av slam i kjerneprøvene ble dybden målt på tauet i båten etter penetrering av bunnen. Slam som fulgte med i prøven ble samlet opp i tank og levert til mottak.

Det er satt ut målepinner i hele fjorden og utført kjerneprøver, samt skannet fjorden med batymetri. Det er lagt størst vekt på resultatene fra kjerneprøvetaker, da dette er en metode som kan utføres kontinuerlig og gir de mest nøyaktige resultatene. Mer om valg av metode er beskrevet i kapittel 8 "Beskrivelse av erfaring med utstyr".



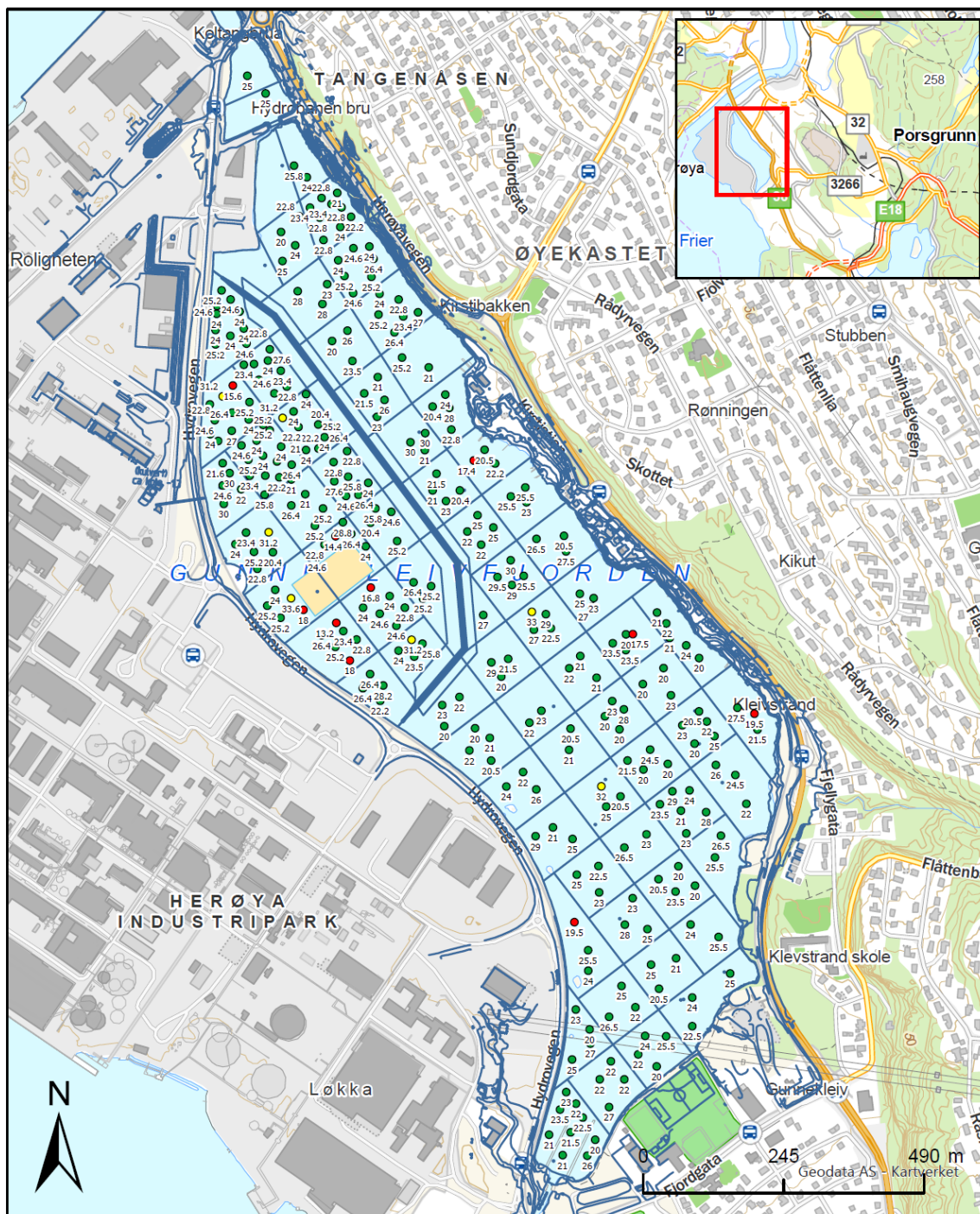
Figur 4-1: Eksempel på utført kjerneprøver ferdig tildekkingslag.

4.1.2 Resultater mektighetsmålinger

Det ble prosjektert et tildekkingslag med en nominell tykkelse på 20 cm, med tillatte toleranser på $-0 / +10$ cm, fordelt på fire lag à 5 cm. Basert på 320 kjerneprøver ble det dokumentert en faktisk gjennomsnittlig lagtykkelse på 23,8 cm.

Det er tatt prøver av alle 4 lag underveis i tildekkingsarbeidene for å kontrollere at det utføres iht. toleransene på 5 ± 2 cm. Samlede resultater viser at dette har gitt gode resultater, og lagtykkelse har svært lite variasjon og ligger jevnt og fint på bunnen. En sammenstilling av målingene er vist i Vedlegg J og bilder av alle tykkelsesmålinger er vist i Vedlegg K.

Av 320 prøver var 11 stk under 20 cm og 9 stk over 30 cm fordelt over hele fjorden. Prøver tatt med kjerneprøvetaker er vist i Figur 4-2. Dette tilsvarer at 94% av prøvene overholdt toleransen på 20 cm $-0/+10$ cm.



Tykkelse på tildekkingslag

• <20 cm

• 20-30 cm

• >30 cm

bruddområdet 3 cm

Resultater fra kontrollmåling

Tykkelse på tildekkingslag [cm]

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2025-12-09	SEA	AP	AP
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A4 1:9,337		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20170636	-	-	-
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT			
Tlf: 22 02 30 00 www.ngi.no			

Figur 4-2: Utdrag av oversikt over målinger av mektighet med kjerneprøvetaker

4.1.3 Strandsoner

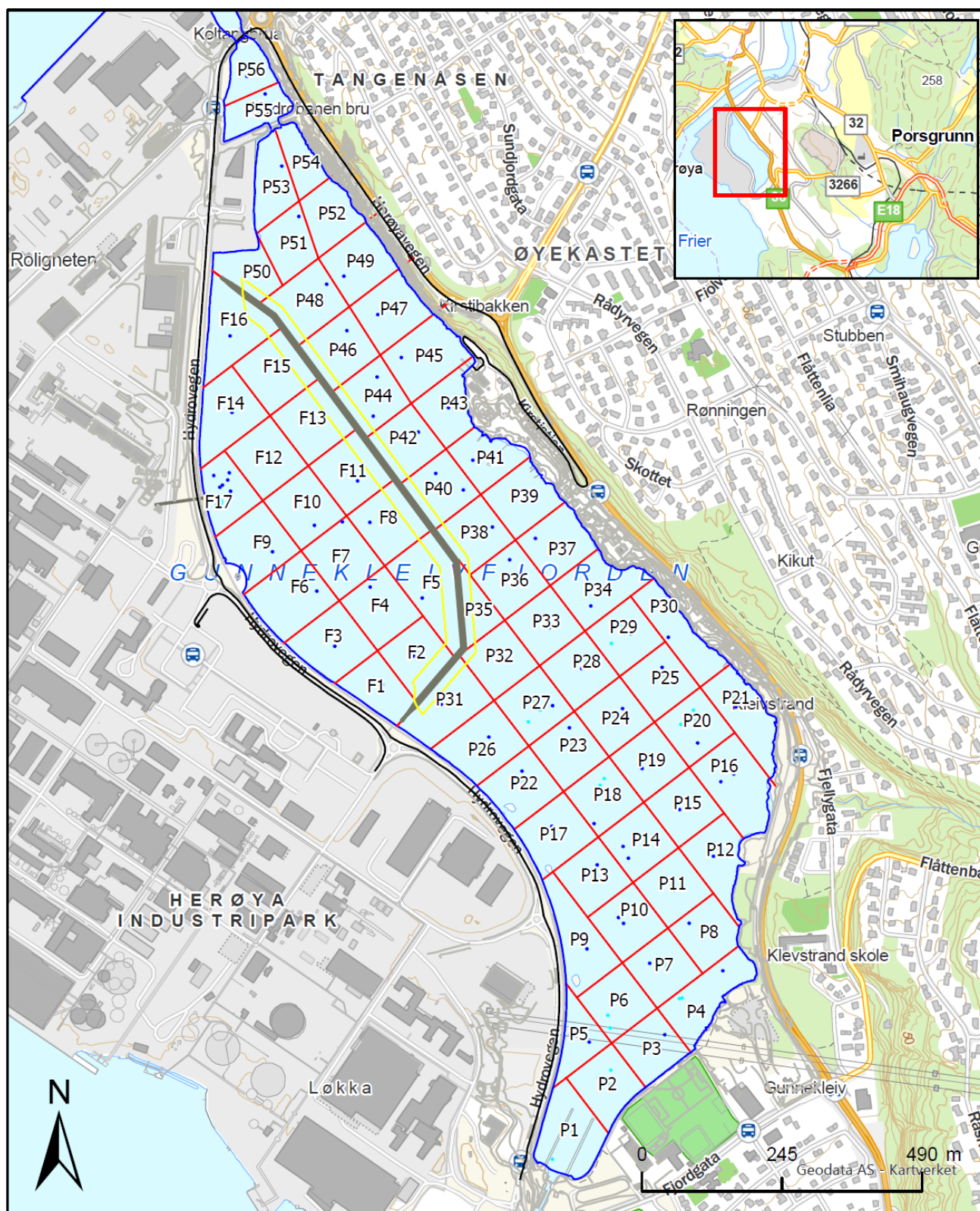
Ved langgrunne områder og strandsoner ble det gjennomført befaringer ved lavvann for å kontrollere områder da det ikke var mulig å legge måleplater eller ta kjerneprøver. For å ikke ødelegge tildekkingslaget ble det sjekket med en prøve der det ble gravd for hånd og tykkelsen ble målt (Figur 4-3).



Figur 4-3: Oppmåling av tildekking i strandsoner

4.2 Kjemisk kontroll av tildekkingslaget

Iht. Tiltaksbeskrivelsen skal tettheten for stasjoner for prøvetaking til kjemisk analyse av sediment til å være 1 prøve per 10.000m². Fjorden ble delt inn i 73 soner, 56 i delområdet 1 og 17 i delområdet 2. Sonene i delområdet 1 består av prøver kalt P1-P56. I delområdet 2 er sonene merket med F1-F17. Oversikt over sonene illustreres i Figur 4-4.

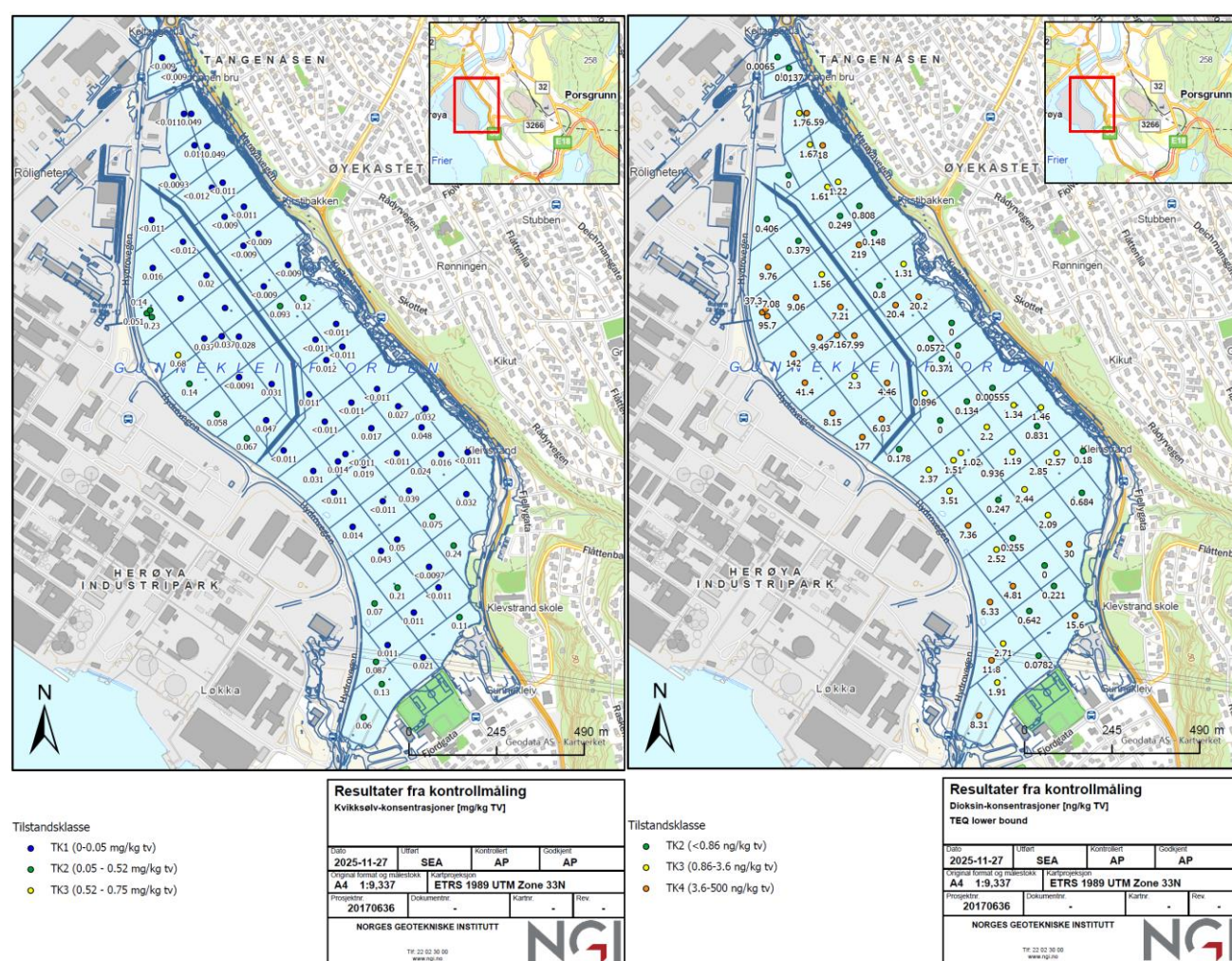


Figur 4-4: Oversikt over inndeling av fjorden i 10.000m² ruter (100x100m). Felt markert P for delområde 1 og F for delområde 2.

Totalt ble 75 prøver levert inn som en del av sluttkontrollen. Fra området F17 ble tre prøver sendt inn. F17 er utløpsområdet for kjølevannet fra Herøya industripark, og her finnes det erosjonslag med så store steiner at kjerneprøvetakeren ikke kan brukes. Derfor har man tatt prøver fra de øverste 5 centimeterne av filterlaget, og det er samlet inn flere prøver fra dette området.

Sedimentene som ble testet ble hentet opp ved hjelp av kjerneprøvetaker. Områder der det ble prosjektert med 0-8mm eller finere masser ble det testet for de øverste 10cm av tildekkingslaget. I områder der tildekkingen var prosjektert med 0-32 mm og 0-63 mm masser, ble prøvene tatt fra de øverste 5 cm av filterlaget, før erosjonsmassene ble lagt ut. Dette gjelder prøver i felt F17, P1, P2, P55 og P56.

Figur 4-5 viser konsentrasjon av kvikksølv og tilhørende tilstandsklasse. Fullstendige analyseresultater for kjemiske prøver av tildekkingslaget finnes igjen i Vedlegg L.



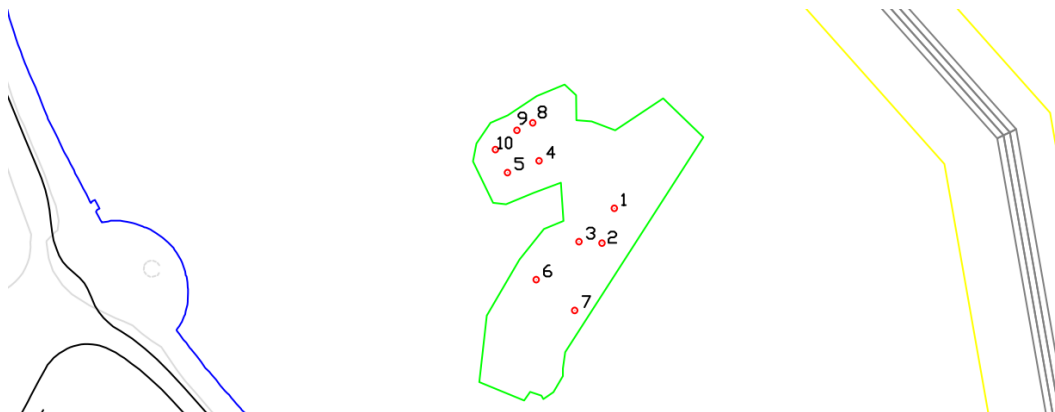
Figur 4-5: Konsentrasjon av kvikksølv og dioksiner i tildekkingslaget

4.3 Innsynkning i tykkslamområdet

Tildekkingen av det 5300 m² innsunkede området ble utført som beskrevet i Kapittel 2.4.5. Figur 4-6 og Figur 4-7 viser et utvalg av kjerneprøvene som ble tatt ca. en time etter utlegging. Som

figurene viser, er det lagt de planlagte 3 cm med tildekkingsmasse. Scan etter tildekkingen viser at området ikke ble utvidet etter reparasjonstildekkingen.

Området utgjør om lag 0,7 % av fjordens totale areal. Tildekkingen av området ble gjennomført i henhold til plan, men innsynkningen medfører at kravet til mektighet (20 cm) ikke er oppfylt i dette delområdet. Ytterligere tildekking er vurdert, men kan ikke gjennomføres uten å skape uakseptabel geoteknisk risiko. På bakgrunn av dette vurderes dagens løsning som den mest forsvarlige, som beskrevet i NGIs vurdering av bruddområdet (Vedlegg G) og NGIs miljørisikovurdering av arbeidet [6].



Figur 4-6: Kart over kjerneprøver det innsunkne området

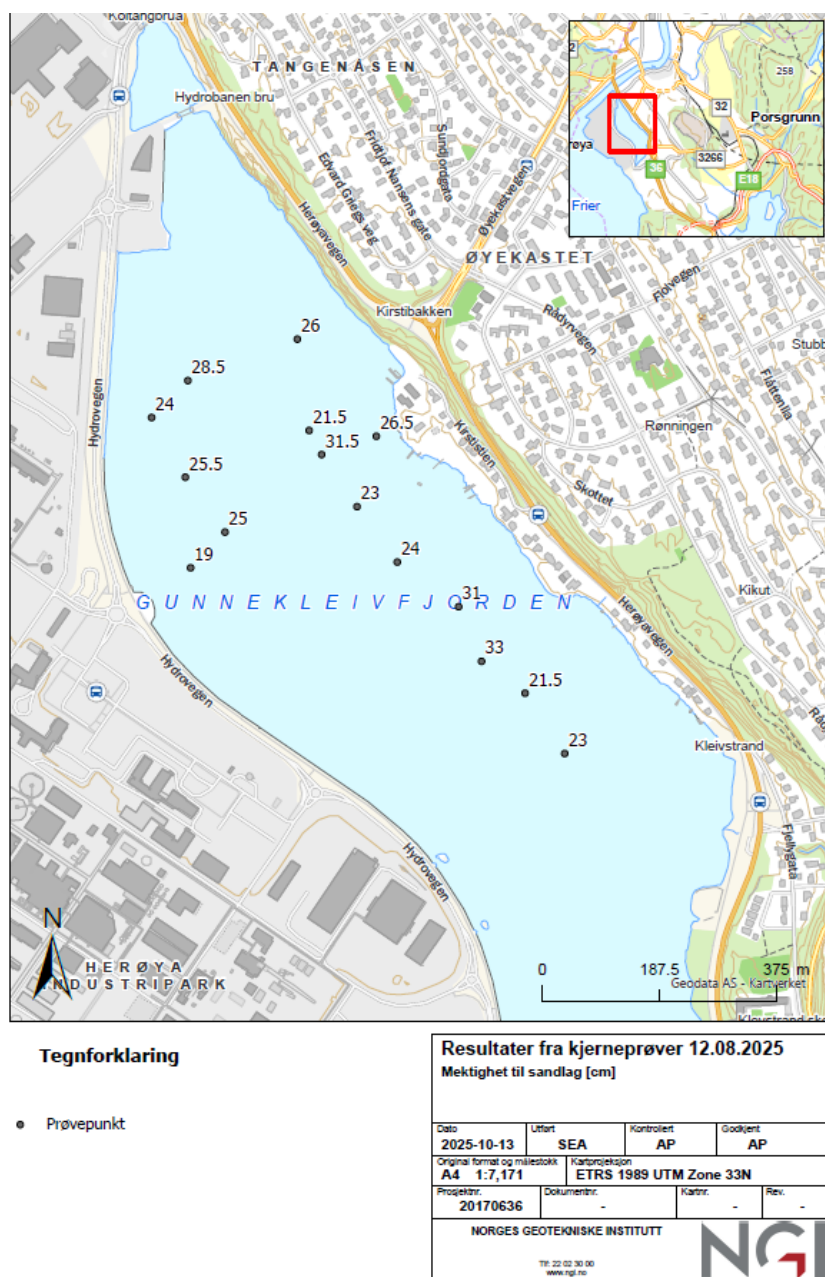


Figur 4-7: Kjerneprøve nr 1 og 10 etter tildekking av innsunket område med 3cm

4.4 Stikkprøver NGI

Som en uavhengig kontroll av entreprenøren prøvetaking tok NGI 15 kjerneprøver av ferdig tildekket sjøbunn. Prøvene er presentert i Vedlegg M. Prøvene ble brukt både til å kontrollere mektighet og sendt for analyse av miljøgifter. Oversikt over målt tykkelse i stikkprøvene er vist i Figur 4-8 og oppsummeres med:

Det er mer enn 20 cm sand i 14 av de 15 prøvepunktene. I den siste er det observert 19 cm sand. I tre av prøvene er det mer enn 30 cm sand. Dette er ikke i direkte strid med Miljødirektoratets pålegg, men den prosjekterte toleransen for tildekkingen er gitt til å være 20 cm -0 cm +10 cm.



Figur 4-8: Resultater av stikkprøver tatt av NGI etter ferdig tildekking

5 Beregnet mengde helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert ved tiltaksgjennomføringen, etter veileder M-831|2017

I beregningen er det benyttet resultater for kjemisk innhold fra overflatesedimenter. Det foreligger ikke et veldig stort datamateriale, men det er hentet data fra NGI rapportene fra sedimentprøvetaking i 2019 [9], underlag for beslutning om tiltaket [10] og sedimentundersøkelse fra 2007 [11].

Data for de fysiske egenskapene (tørrestoffinnhold og egenvekt) er hentet fra NGIs tester av materialet under geoteknisk prosjektering (Vedlegg G). NGI har lagt til grunn et tørrestoffinnhold på 18%, dvs 11 kN/m³, eller 1120 kg/m³. Dette gir en tørrestoffandel på 202 kg/m³.

Sedimentvolumet som er behandlet ved tildekkingen er Gunneklevfjordens areal på 770 000 m², og de øverste 20 cm sediment som da utgjør 154000 m³, dvs 31 000 tonn. Mengde helse- og miljøfarlige stoffer som er behandlet blir da som gitt i Tabell 1.

Tabell 1: Mengde helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert ved tiltaksgjennomføringen (kg)

Kvikksølv	Dioksiner, TEQ	TBT	PAH-16	PCB-7
3047	0,37	5,2	187	1,6

Det spesielle med Gunneklevfjorden er at konsentrasjonen av kvikksølv og dioksiner er høyt, men tørrestoffinnhold og egenvekt er lavt. Dermed blir den totale mengde av helse- og miljøfarlige stoffer som er håndtert ved tiltaksgjennomføringen lav.

6 Vurdering av om de kortsiktige tiltaksmålene definert i Miljødirektoratets pålegg er oppnådd

NGI har gjennomført en uavhengig vurdering av sluttkontrollen (Vedlegg N). Den bekrefter at påleggets verifikasjonskrav er oppfylt:

- Tildekkingslagets tykkelse: Kravet om minimum 20 cm tildekking i 90 % av prøvene er oppfylt.
- Kjemisk kvalitet: Konsentrasjoner av kvikksølv, metaller, PAH, PCB og TBT tilfredsstiller kravet om tilstandsklasse II eller bedre i minst 90 % av stasjonene. OCS tilfredsstiller kravet om en reduksjon i konsentrasjon på 90 % etter tiltak.
- Dioksiner: Konsentrasjonen er redusert med 99,9 % sammenliknet med opprinnelig nivå. Enkelte målinger i klasse III–IV er i tråd med påleggets presisering om geotekniske begrensninger.

NGIs konklusjon er gjengitt nedenfor:

«NGI har gjennomført en uavhengig vurdering av sluttkontrollen og bekrefter at de kravene Miljødirektoratet har satt for verifikasjon i sluttkontrollen er oppfylt. Dette innebærer:

- *Tildekkingslagets tykkelse*
 - *Kravet om minimum 20 cm tildekking i 90 % av prøvene er oppfylt.*
- *Kjemisk kvalitet for kvikksølv, metaller, PAH, PCB, TBT og OCS*
 - *Konsentrasjoner av kvikksølv, metaller, PAH, PCB og TBT tilfredsstiller kravet om tilstandsklasse II eller bedre i minst 90 % av stasjonene. OCS tilfredsstiller kravet om en reduksjon i konsentrasjon på 90 % etter tiltak.*
- *Kjemisk kvalitet for dioksiner*
 - *For dioksiner er konsentrasjonen redusert med 99,9 % sammenliknet med opprinnelig nivå i sedimentene. Selv om noen målinger fortsatt ligger i klasse III og IV, er resultatet det beste som lar seg oppnå innenfor de geotekniske begrensningene, og i tråd med det pålegget presiserer.*

NGIs vurdering er at Hydro har oppfylt Miljødirektoratets krav til sluttkontroll i pålegget om tiltak i Gunneklevfjorden. Alle verifiserbare krav er kontrollert og bekreftet, og dokumentasjonen viser at tiltakene er gjennomført i tråd med myndighetenes spesifikasjoner.»

Hydros konklusjon: De kortsiktige tiltaksmålene definert i pålegget er oppnådd. De langsiktige målene følges opp gjennom et 12-årig overvåkingsprogram i henhold til pålegget.

7 Avvik og uønskede hendelser

Dette kapittelet beskriver avvik fra pålegget og/eller kontroll- og overvåkningsprogrammet [4], samt uønskede hendelser (RUH – rapportering av uønskede hendelser) med risiko for ytre miljø.

Definisjoner:

- **Avvik:** Arbeid eller forhold som ikke er utført i samsvar med pålegg fra Miljødirektoratet eller med kontroll- og overvåkningsprogrammet for prosjektet. Kontroll- og overvåkningsprogrammet er utarbeidet av tiltakshaver (Hydro) med støtte fra NGL.
- **Uønsket hendelse:** Hendelse som har potensial til å bli et avvik og/eller har potensiale til å forårsake skade på miljøet.

7.1 Eventuelle avvik fra tillatelsen og avbøtende tiltak.

Totalt i prosjektperioden er det registrert 12 avvik fra pålegget og/eller kontroll- og overvåkningsprogrammet. Disse er håndtert gjennom Hydros avvikssystem og er rapportert i tertial- og årsrapporter. Det er ikke registrerte avvik i perioden uten tertialrapportering, det vil si etter august 2025.

En sammenfatning av de ulike avvikene er gitt nedenfor:

Avvik	Tiltak / oppfølging
Høy turbiditet i sør (november 2024): Høy turbiditet i sør i november 2024. Driften ble innstilt iht. pålegget, men nedstengingen var ikke tilstrekkelig; turbiditeten forble forhøyet over lengre tid og hendelsen ble klassifisert som avvik fra pålegget.	Tidligere iverksatte tiltak ved økt turbiditet ble videreført og tempoet ytterligere senket. Det ble gjennomført manuelle målinger i Porsgrunnselva for å vurdere miljørisiko; risikoen ble vurdert som lav. Muligheter for flytting av turbiditetsmålere ble vurdert og senere omsøkt og implementert.
Manglende instrumentering i juleferien: Det sto ikke målere ute i ferieperioden. Det pågikk ikke arbeid på plassen, og miljørisikoen ble vurdert som lav.	Årsak: ferieavvikling og planlegging. Tiltak: bedre planlegging for kommende ferieperioder.
Sluttkontroll – utilstrekkelig prøvemengde (etter lag 4) i Delområde 2: Laboratoriet meldte for lite materiale i enkelte prøveglass; manglende analyser for 2 stoffer.	Nye prøver ble tatt fra berørte områder for å sikre fullstendig analysematrise iht. kontroll- og overvåkningsprogrammet.
Ikke gjennomført dykkeinspeksjon av siltgardin rundt Delområde 2 (oktober):	Vurdert som ikke nødvendig med tiltak siden arbeidet på innsiden av den aktuelle siltgarden var ferdig.

Sedimentfelle i referansestasjon forsvant (ca. én uke i januar): Ble oppdaget ved neste prøvetaking.	Ny sedimentfelle ble umiddelbart satt ut. Årsak ukjent; ingen ekstra tiltak utover normal oppfølging.
Turbiditetsmåler i nord ute av drift én dag i januar: Årsak: kaldt vær.	Tiltak/oppfølging: Ny, større batteripakke med bedre kuldetoleranse ble installert.
Utsatt feltarbeid etter juleferien (to dager uten passive prøvetakere): Utsett/høsting ble forsinket, og det manglet målinger i to dager. Det var ingen tildekkingsarbeid i perioden.	Tiltak/oppfølging: Ingen ekstra tiltak, gitt lav miljøkonsekvens (pga det var ingen arbeid i denne perioden).
Manglende kvikksølvresultat fra referansestasjon (vannprøve): Resultat manglet fra laboratoriet.	Tiltak/oppfølging: Det ble ikke tatt ekstra referanseprøve, men det ble fulgt opp med laboratoriet for å sikre at feilen ikke gjentas.
Midlertidig mangel på siltgardiner i sør ved båtutsetting: I korte perioder ble gardiner tatt bort mens tildekkingsarbeid pågikk, for å imøtekomme båtforeningens utsetting.	Tiltak/oppfølging: Planlagt avvik; tildekkingsarbeid flyttet til motsatt ende av fjorden. Turbiditetsmålerne i utløp sør viste lave verdier i perioden.
Manglende manuell turbiditetsmåling i uke 19 (mai): Årsak: ferieavvikling og manglende opplæring.	Tiltak/oppfølging: Opplæring gjennomført for å sikre manuelle turbiditetsmålinger iht. kontroll- og overvåkingsprogrammet.
Manglende turbiditetsmåling i utløp sør (slutten av juni, ~1 døgn): Stasjonen ble tatt opp på land av ukjent tredjepart.	Tiltak/oppfølging: Måleren ble erstattet med ekstramåler AM2-1 til utløp sør var operativ igjen.
Manglende turbiditetsmålinger i utløp sør og nord (juli): Målerne sluttet å fungere på ulike tidspunkter i løpet av juli.	Tiltak/oppfølging: Ekstramålerne AM1-1 og AM2-1 ble flyttet til utløpene for å sikre kontinuerlige målinger. Manuelle målinger ble utført ved de ekstra stasjonene ved behov. Ingen alarmer i utløpene i perioden; miljørisiko vurdert som lav.

For mer detaljer om håndteringen av avvikene, se tidligere tertial- og årsrapporter.

Det er ved enkelte anledninger ikke tatt vannprøver dagen etter alarm når alarmen har gått etter arbeidstid og/eller i helg. Dette ses ikke på som avvik, da det ikke er arbeid på stedet og det er godt vist at alle resultatene fra prøvetaking tatt ved alarm er under deteksjonsgrense for kvikksølv og HCB som vist kontroll- og overvåkingsprogrammet [4].

7.2 Uønskede hendelser, anmerkninger og avbøtende tiltak

Gjennom prosjektperioden er det registrert totalt 170 uønskede hendelser knyttet til ytre miljø. Hendelsene er gruppert etter tema i Figur 7-1, med tilhørende oversikt over utfordringer og avbøtende tiltak for hvert tema. Ni hendelser er klassifisert med høy alvorlighetsgrad.

Det har vært praktisert lav terskel for registrering og rapportering, noe som har gitt et godt datagrunnlag og muliggjort tidlig oppfølging.

7.2.1 Turbiditet (spredning av rene partikler)

Flertallet av hendelsene har vært knyttet til turbiditet (spredning av rene partikler), særlig i sommermånedene 2024. Hver alarm fra turbiditetsmålerne er registrert som en egen hendelse.

Tiltak som ble iverksatt inkluderte:

- a) Reduksjon av tempo i tildekkingsarbeidet
- b) Etablering av utvidet måleprogram med flere kontinuerlige turbiditetsstasjoner samt regelmessige manuelle turbiditetsmålinger (Porsgrunnselva og Frierfjorden)
- c) Gjennomføring av utvidet miljørisikovurdering
- d) Bruk av saltvann ved utlegging
- e) Forlengelse av tildekkingsutstyr dette var teknisk mulig
- f) Installasjon av ekstra siltgardiner
- g) Justering av plassering av turbiditetsmålere

Tiltakene som er vurdert å ha hatt best effekt inkluderer bruk av saltvann ved utlegging, bruk av forlenger på tildekkingsutstyret der mulig, og økt omfang av siltgardiner ved utløp. Basert på resultatene fra det utvidede måleprogrammet og vurderingene i den utvidede miljørisikovurderingen, ble det konkludert med at spredningen av rene partikler ikke medførte negative miljøkonsekvenser.

Turbiditetshendelser, vurderinger, og tiltak er nærmere beskrevet i tertialrapporten for mai–august 2024, samt i årsrapport for 2024 [8].

7.2.2 Observasjoner av sorte partikler

Det ble i enkelte tilfeller observert sorte partikler i vannoverflaten. Analyser viste innhold av plast og olje. Undersøkelser konkluderte med at partiklene stammet fra tildekkingsutstyret. Følgende strakstiltak ble iverksatt for å hindre spredning:

- Utlegging av oljelenser
- Justering av pumpeledninger

I tillegg bidro doble siltgardiner i utløpene til å hindre spredning ut av fjorden.

Erfaringer og håndtering er nærmere omtalt i kapittel 8.2.3 samt oppdatert miljørisikovurdering i Vedlegg P.

7.2.3 Generelle anleggsaktiviteter

Generelle anleggsarbeider har totalt sett medført få hendelser med miljørisiko. To hendelser registrert med medium alvorlighetsgrad gjaldt observasjon av døde fugler. Etter vurdering ble det konkludert med at disse ikke hadde sammenheng med prosjektarbeidene.

7.2.4 Innsynking i slamlag

Høsten 2024 ble det ved kjerneprøvetaking oppdaget innsynking i slamlaget i et område innenfor Delområde 2. Notat med informasjon om funnet ble oversendt Miljødirektoratet i slutten av 2024, og senere oppdatert i februar 2025. For nærmere beskrivelse vises det til kapittel 2.4.5 og 4.3.

7.2.5 Øvrige temakategorier

Opprydding i fjorden:

Hendelser i denne kategorien har i hovedsak vært knyttet til tredjepartsbåter som har sunket i Gunneklevfjorden i løpet av prosjektperioden. Disse er håndtert av prosjektet og fjernet som del av oppryddingen. Enkelte hendelser er klassifisert som medium alvorlighetsgrad på grunn av potensiell risiko for olje- og dieselsøl.

Kjemisk overvåking:

Hendelser omfatter avvik fra prøvetakingsprosedyrer og/eller manglende analyseresultater. De fleste hendelsene har hatt begrenset konsekvens for anleggsgjennomføringen, eksempelvis utfordringer knyttet til referansestasjon. Tiltak har vært innskjerping av rutiner hos entreprenør og entreprenørs miljørådgiver.

Partikkelsperre (siltgardiner):

Flere hendelser har omhandlet slitasje/skade på siltgardiner. Under tildekkingsarbeid i Delområde 1 har gardiner stått ved utløp med sterke tidevannsstrømmer. Tiltak (jf. Årsrapport 2024 [8] og kapittel 8) har blant annet omfattet tilpasninger for å unngå at gardiner går til bunn, samt daglige visuelle kontroller for å sikre rask oppdagelse og utbedring.

Avfall:

Det er registrert få hendelser knyttet til avfall. Hendelsene har hovedsakelig omhandlet feil håndtering, inkludert farlig avfall, som er korrigert umiddelbart.

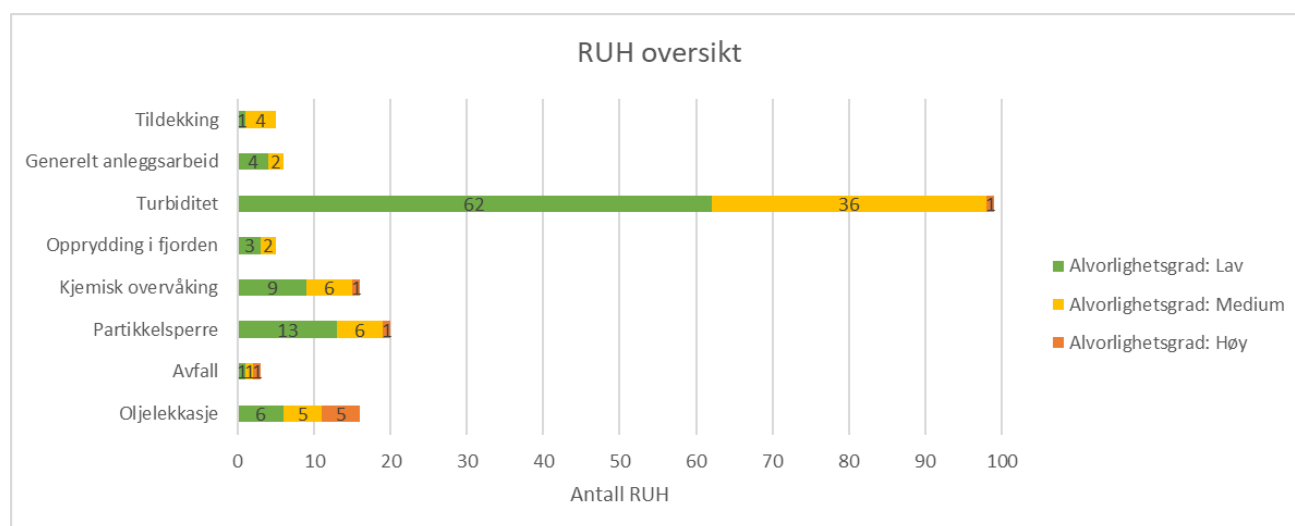
Oljelekkasje:

Det har forekommet mindre oljelekkasjer på riggområdene. De fleste lekkasjene har vært på land uten spredning til sjø. Alle hendelser er håndtert umiddelbart med absorberende materiell, og forurensede masser er levert til godkjent mottak. Det er vurdert at lekkasjene ikke har medført vesentlige miljøkonsekvenser.

7.2.6 Vedlegg

Vedlegg O gir en samlet oversikt over alle uønskede hendelser knyttet til ytre miljø i prosjektperioden.

Figur 7-1 viser oversikt over uønskede hendelser. Hendelsene er gruppert etter hendelsestype og alvorlighetsgrad. Tall i figuren viser antall hendelser innen hver alvorlighetsgrad.



Figur 7-1: Oversikt over uønskede hendelser. Hendelsene er gruppert på hva slags type hendelse, samt alvorlighetsgrad. Tall i grafen viser til antall i gjeldende alvorlighetsgrad.

8 Beskrivelse av erfaring med utstyr, teknologi etc.

8.1 Dumpelekter

Dumping av masser ble gjennomført ved bruk av fallbunnslekter i kombinasjon med slepebåt (Figur 8-1). Tidlig i prosjektet oppsto det utfordringer knyttet til UXO-vurdering (unexploded ordnance), som medførte behov for en særskilt risikovurdering av operasjonen. Det ble besluttet at slep skulle utføres med sikkerhetsavstand mellom slepebåt og fallbunnslekter. For å ivareta sikkerheten ytterligere ble lemmene på fallbunnslekteren utstyrt med fjernstyring, slik at mannskap ikke behøvde å oppholde seg om bord under selve dumping.

Den økte avstanden mellom slepebåt og lekter medførte noe høyere risiko for feildumping og reduserte nøyaktigheten noe i utleggingen. For å kvalitetssikre arbeidet ble det derfor utført bunnskanning både før, under og etter dumping. Hvert lag ble gjennomgått og godkjent fortløpende.

Fallbunnslektere er ellers kjent utstyr og fungerte som forventet. Undringer er knyttet til nøyktigheten av arbeidet og kontroll/verifisering av resultater.

Nederste lag av sjeteen var prosjekter med masser på 100-500mm. Massene mellom 0-100mm ble derfor sortert ut for å sikre at store steinblokker penetrerte slamlag og sjøbunn godt. Sorteringsarbeidet av sjetemassene som ble gjort var kostbart og det burde revurderes om det var nødvendig eller om usorterte masser (0-500mm) ville gitt samme resultat.



Figur 8-1: Dumpelekter fylt med stein for sjete

8.2 Tildekkingsutstyr

8.2.1 Anleggsområde, pumper og oppsett

Ved Hydrovegen 6 er det etablert et riggområde på en tidligere oppfylt del av Gunneklevfjorden. Området fungerte som en sentral base for håndtering og mellomlagring av tildekkingsmasser, samt

som operativt knutepunkt for gjennomføring og overvåking av tildekkingsarbeidet. Logistisk var området velegnet, ettersom transport av masser via sjøveien var utfordrende på grunn av lave bruer og smale utløp. Tilkomst via land til anleggsområdet var tilfredsstillende, mens større båter og lektere måtte heises inn i fjorden med mobilkran, slik vist i Figur 8-2.

Ideelt sett ville et ytterligere anleggsområde i motsatt ende av fjorden ha redusert pumpeavstanden for massene, men dette lot seg ikke realisere på grunn av begrenset tilkomst. Det er ikke ønskelig med tungtransporten forbi barnehagen og barneskolen på Herøyasiden av fjorden.

Oppsett og plassering av pumpene ble justert gjennom tiltaksgjennomføringen basert på plasseringen av utleggingsutstyret og målinger av strømningshastigheten i røret. Plassering av pumpeledningen på land og på vann var viktig for å unngå propp i ledningen.

Det ble tidlig erfart at en viss forsinkelse i sedimenteringen ved utlegging. De minste partiklene brukte lenger tid enn forventet til å nå sjøbunnen. Basert på løpende kvalitetskontroll med kjerneprøver ble prosessen justert fortløpende, og tildekkingen ble etter hvert svært presis og i tråd med prosjekterte verdier.



Figur 8-2: Innheising av båt og mellomlagring av tildekkingsmasser

8.2.2 Utleggingsfartøy

Utleggingsfartøyet har i sin helhet fungert godt. Det ble gjort justeringer underveis for at båten skulle ligge høyere i vannet for å redusere sannsynligheten for rekontaminering fra propellene. GPS-systemet har fungert som forventet med bare en dag nedetid.

Springssystemet hadde også en online visning som ble delt med byggherre som gjorde oppfølging av arbeidene enklere.

En forbedring av tildekkingsutstyret kan være å ha all styring via vinsj for å eliminere risikoen for propelloppvirkning i grunne områder.

Det var en utfordring med bruk av tildekkingsutstyret på vinteren. Den største utfordringen var isklumper i sandmassene. Isklumper kunne bli funnet i massene langt ut på våren og sommeren dersom massene var produsert og lagret på vinteren. Utfordringen ble løst ved å ha en ekstra hjullaster med soldeskuffe for å knuse massene før det ble plassert i tippelommen (Figur 8-3). Pumper, tippelomme måtte også varmes opp og isoleres for å fungere etter hensikten. Det anbefales at det meste av tildekkingsarbeider utføres i plussgrader.



Figur 8-3: Bruk av hjullaster med soldeskuffe for å fjerne isklumper i massene

8.2.3 Slitasje på utstyr

Under tildekkingsarbeidet ble det registrert slitasje på utstyr og transportledninger, hovedsakelig i forbindelse med bruk av grovere massetyper. Dette medførte utskiftning av slitedeler og enkelte perioder med nedetid.

Flere av uønskede hendelser beskrevet i kapittel 7 gjaldt observasjon av sorte partikler i vannoverflaten. Forekomsten var begrenset og partiklene lå spredt med stor innbyrdes avstand, noe som gjorde det tidkrevende å samle tilstrekkelig materiale til prøvetaking. Laboratorieanalyser av innsamlet materiale påviste plast og olje. Undersøkelsene konkluderte med at partiklene stammet fra tildekkingsutstyret.

Som strakstiltak ble det satt ut oljelenser for oppsamling av partikler, og pumpeledningene ble kortet ned så langt som praktisk mulig. Doble siltgardiner i utløpene bidro til å hindre spredning ut av fjorden.

Alternative rørmaterialer ble vurdert, men avvist på grunn av krav til fleksibilitet og sikkerhet. Bruk av naturmaterialer for tildekkingsmassene kunne potensielt redusert slitasjen, men tilgjengelige forekomster i regionen tilfredsstilte ikke kravene til kornfordeling og erosjonssikkerhet. Optimalisering av transportsystemet og tilpasninger i utstyr ble gjennomført for å redusere belastningen. Slitasjen og tilhørende risiko ble fortløpende vurdert i Miljøriskovurderingen (Vedlegg P).

Basert på litteraturverdier estimeres mengden plast som kan ha blitt sluppet ut fra rørsystemet under tildekkingsarbeidet til størrelsesorden 0,06–1,5 gram per tonn tildekkingsmasser. Estimater er usikkert, og det kan ikke utelukkes at mengden kan ha vært høyere i enkelte perioder. Samtidig ble plast samlet opp ved bruk av oljelenser.

Forsøk på å utarbeide egne estimater basert på målt slitasje lot seg ikke gjennomføre med tilstrekkelig kvalitet. Et standardisert måleprogram med dedikert instrumentering, kvalifisert fagpersonell og uavhengig kvalitetskontroll (QA/QC) ville vært nødvendig for å håndtere variasjoner i massetype og rørledningslengde, ujevn slitasje, og varierende vanninnhold i materialet som veies. Siden denne problematikken ble identifisert sent i prosjektet, var det ikke mulig å etablere et slikt måleprogram innen prosjektets tidsrammer.

Tildekkingslaget ble analysert for plast for å vurdere om plast fra rørsystemet hadde avsatt seg der. Analyser av åtte prøver fra tildekkingslaget viste 200–1866 mikroplastpartikler per kilo, men ingen påvisning av polyetylen fra rørene. Påviste plasttyper var polystyren, PVC, rayon og PTFE. Det kan ikke utelukkes at polyetylen forekommer i konsentrasjoner under deteksjonsgrensen.

Samlet vurdering: Slitasjen vurderes å ligge innenfor forventede nivåer for et prosjekt av denne typen. Gjennomførte tiltak har redusert omfang og risiko betydelig. Vurderingen er forankret i Miljøriskovurderingen (Vedlegg P).

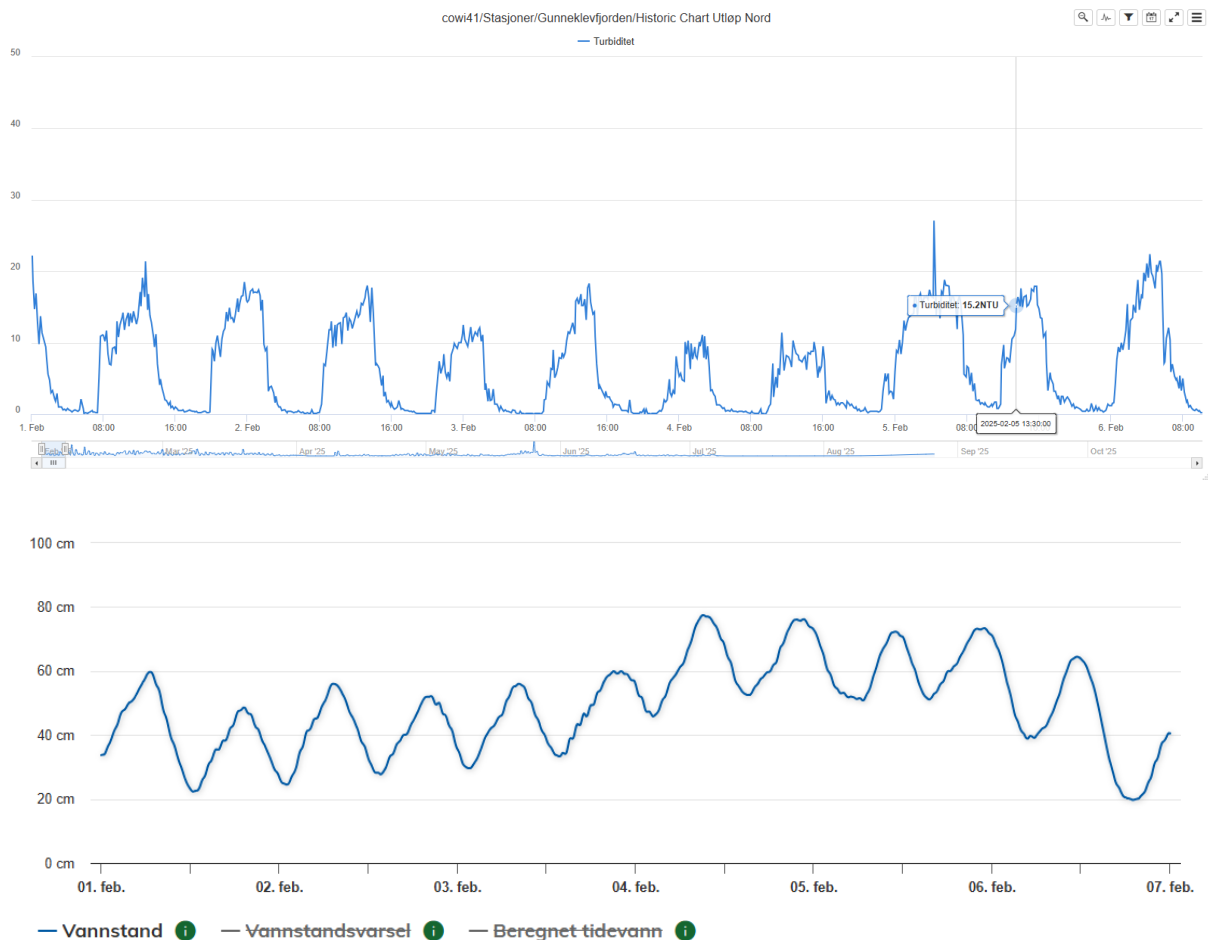
8.2.4 Turbiditet

Tildekkingsmaterialet er mineralsk og består hovedsakelig av fraksjoner 0–2 mm og 0–8 mm. I enkelte områder med behov for høy erosjonsbeskyttelse er det lagt ut grovere masser, som også inneholder finstoff (0-fraksjon).

Finstoffet i tildekkingsmassene har lang sedimenteringstid i Gunneklevfjorden, typisk mer enn én uke. Den lave saltholdigheten i fjorden bidrar til at prosessen tar ekstra lang tid sammenlignet med områder med høyere salinitet, ettersom høyere saltinnhold fremmer flokkulering og utfelling av små partikler. Gunneklevfjorden er i tillegg et lukket system, hvor partikkeltransport ut av fjorden kun skjer ved utgående tidevann. Dette medfører akkumulering av finstoff over tid, noe som gir økt turbiditet inne i fjorden og periodisk økt turbiditet ved utløpene under utgående tidevann (se Figur 8-4).

De forhøyede turbiditetsmålingene ved utløpene utløste et omfattende arbeid med å identifisere, utvikle, evaluere og implementere tekniske løsninger for å minimere partikkelspredning ut av fjorden. Disse tiltakene er beskrevet i de påfølgende delkapitlene.

Analyser av vannprøver bekreftet at partiklene som ble ført ut av fjorden ikke inneholdt forurensning.



Figur 8-4: Målt turbiditet i utløp nord (øverst) og tidevann (nederst) i samme periode

8.2.4.1 Boblegardin

Ifm. økte turbiditetsnivåer sommeren 2024, ble det etablert boblegardiner som et umiddelbart avbøtende tiltak for å redusere spredning av partikler ved utløpene fra fjorden (Figur 8-5). Boblegardin kunne installeres raskere enn ekstra siltgardin siden siltgarding har bestillingstid.

Det ble installert to enheter av boblegardin i hvert avløp. Effekten ble imidlertid vurdert som begrenset blant annet på grunn av de store vannmengdene som naturlig strømmer inn og ut av Gunneklevfjorden, noe som reduserte virkningen av tiltaket.

Det er også en risiko for at boblene drar partiklene oppover i vannsøylen, mens det er ønskelig at partiklene skal synke.

Når både den operative effekten og energiforbruket ble vurdert, ble det konkludert med at ulempene ikke sto i forhold til nytten. Boblegardinene ble derfor tatt ut av drift så snart ekstra siltgardiner var installert som et alternativt tiltak.



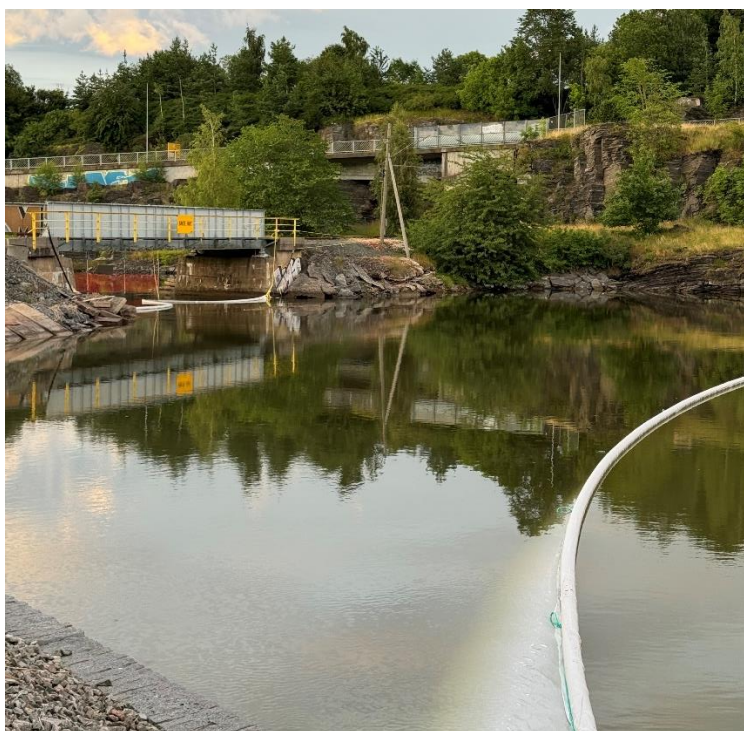
Figur 8-5: Boblegardin mellom jernbanebru ved utløp nord

8.2.4.2 Siltgardin

Siltgardiner er et vanlig tiltak for å redusere partikkelspredning og ble også brukt i dette prosjektet. Erfaringene viser at gardinene fungerer best ved lite vannstrøm. Det ble gjennomført testing av ulike typer siltgardiner med forskjellig maskevidde, og basert på resultatene ble det valgt en type gardin med mindre maske og robust kvalitet for best mulig effekt.

Siden én enkelt siltgardin ikke gir full barrierevirkning, ble flere gardiner plassert etter hverandre for å øke effekten (Figur 8-6). Plasseringen ble tilpasset fjordens strømforhold, blant annet ved at gardinene ikke ble senket helt til bunnen for å redusere risiko for skade og spredning. Til tross for disse tilpasningene medførte sterke tidevannsstrømmer utfordringer, inkludert slitasje og behov for reparasjoner. Det ble gjennomført løpende inspeksjon, inkludert dykkerkontroller, og hull ble reparert eller komponenter skiftet ved behov.

Kombinasjonen av flere siltgardiner og andre tiltak, som saltvannstilsetning og bruk av forlenger på utstyr, minimerte partikkelspredningen og ble vurdert som effektive tiltak.



Figur 8-6: Siltgardiner ved utløp nord

8.2.4.3 Saltvann

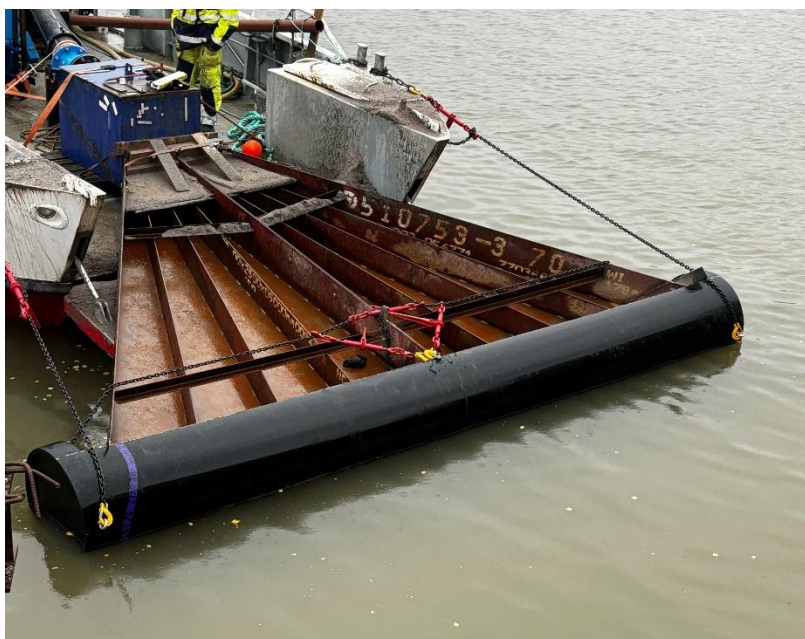
Forsøk viste at tilsetning av saltvann i slurrien (vann/sand) kunne bidra til raskere reduksjon i turbiditet. På bakgrunn av dette ble det etablert et eget system for innblanding av saltvann, der vann ble hentet fra bunnen av Porsgrunnselva for å øke saltholdigheten i tildekkingsmassen.

Tiltaket medførte en målbar økning i salinitet i arbeidsområdet under tildekkingsarbeidet, samt en lokal reduksjon i turbiditet rundt utleggingsfartøyet. Tiltaket ble benyttet frem til tildekkingsarbeidene var ferdigstilt.

8.2.4.4 Tildekking under vannspeil

For tildekking i Delområde 1 ble innført et tiltak basert på en egenutviklet metode for tildekking under vannspeilet, med mål om å redusere partikkelspredning under utleggingen (Figur 8-7).

Metoden ga forbedring i visuelle observasjoner av turbiditet i nærområdet til utleggingsfartøyet. Tiltaket ble ikke brukt i grunne områder eller i Delområde 2, på grunn av høy risiko for oppvirvling av forurensede sedimenter.



Figur 8-7: Forlenger av tildekkingsbrettet under vannoverflaten

8.2.4.5 Redusere hastighet på tildekking

Det ble gjennomført vurderinger for å undersøke hvordan reduksjon i utleggingshastighet og mengde tildekkingsmasser påvirket turbiditetsnivåene i fjorden. Observasjonene viste at lavere tildekkingshastighet ga en forsinket økning i turbiditet, men at effekten var midlertidig.

Selv ved kontinuerlig utlegging i lavt tempo ble fjorden etter hvert mettet med partikler, slik at turbiditetsverdiene til slutt oversteg 20 NTU. Når dette punktet var nådd, forble turbiditeten forhøyet så lenge utleggingen fortsatte, uavhengig av ytterligere reduksjon i mengde eller hastighet.

Resultatene indikerer at tempo og mengde måtte reduseres til et nivå som ville medført at tildekkingsarbeidene ble forsinket i flere år for å unngå overskridelse av 20 NTU (alarmnivå/akseptkriterium).

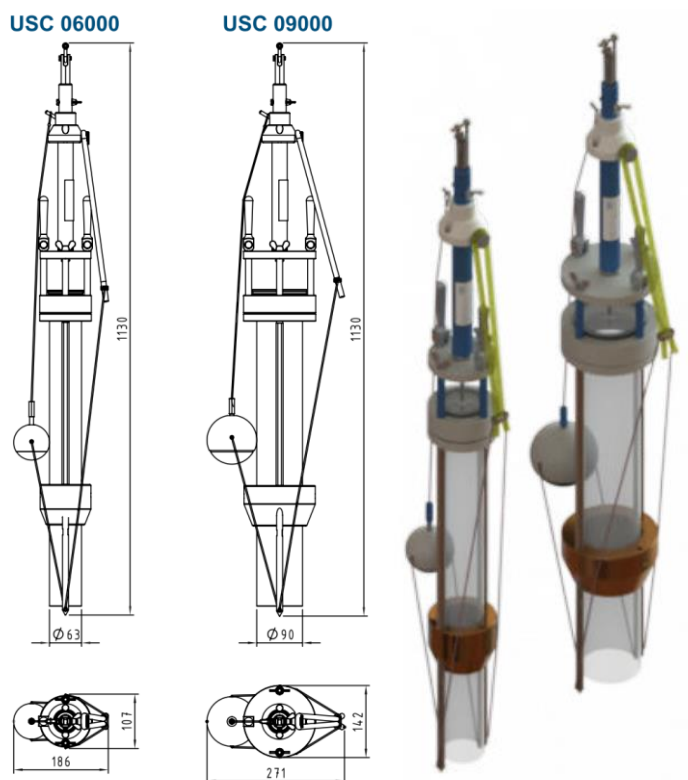
8.3 Kontroll av tildekkingslaget

I tiltaksbeskrivelsen var det beskrevet hvordan tildekkingslaget skulle kontrolleres underveis og ved ferdigstillelse av arbeidene. Dette kapittelet beskriver erfaringer med de forskjellige målemetodene beskrevet.

8.3.1 Kjerneprøver

Kjerneprøver er utført med 60mm og 90mm Uwitec kjerneprøvetaker (Figur 8-8). Dette utstyret fungerer i alt meget godt med raske, nøyaktige og tydelige målinger. Kjerneprøver gir også et bilde av eventuell innblanding mellom tildekking og sediment. Det ble både tatt kjerneprøver av Entreprenør og av NGI.

Det ble mistenkt feil i tykkelsesmåling ved bruk av 60mm prøvetaker når den skal gjennom flere, og grovere lag. Dette er bekreftet av forsøk utført av Cowi, som kan sees i Vedlegg Q. Kjerneprøver ble videre utført med 90mm rør i stedet for 60mm ved prøvetaking av lag tykkere enn 10cm. Cowi sin rapport estimerer ca. 30% sammentrykking i prøver utført med 60mm.



Figur 8-8: Kjerneprøvetaker fra Uwitec brukt i prosjektet

God praksis er å åpne opp/splitte noen av kjerneprøvene for å få et bedre bilde av innblandingen og kornfordelingen i tildekkingslaget, slik vist på Figur 8-9.

Ulempen med kjerneprøver er at det ikke kan brukes på de groveste erosjonslagene.



Figur 8-9: Kjerneprøve og kjerneprøve som er splittet opp

8.3.2 Målepinner

Det ble satt ut 220 måleplater i fjorden for å støtte kontroll av lagtykkelser under prosjektet. Punktene ble innmålt med GPS og plassert på forhåndsdefinerte posisjoner for å gi et rammeverk for etterkontroll og avviksoppfølging. Platene ble også designet for å være så lette som mulig for å unngå at platene sank ned i det bløte sedimentlaget, vist på Figur 8-10.

Under gjennomføringen viste det seg at dårlige siktforhold (5–10 cm) gjorde det vanskelig å finne og dokumentere måleplatene. Ved høy turbiditet var foto eller video upålitelig, så manuell registrering ved dykking ble det eneste alternativet. Dette ga imidlertid begrenset og usikker data. Nøyaktigheten på dataen som kunne leses av på målepinner var begrenset til hver femte cm. Som var for lav nøyaktighet for toleransene som tildekkingslaget skulle utføres med. Bruk av dykkere ble også vurdert som en risiko for å skade tildekkingslaget eller forårsake oppvirvling av sediment.

Etter avsluttet tildekking, da turbiditeten avtok over en lengere periode, ble det igjen mulig å finne og dokumentere målepunkter. Ved denne etterkontrollen ble 43 målepinner lokalisert og undersøkt. Der hvor resultatene avviket, ble det tatt supplerende kjerneprøver ved siden av pinnen utført av dykkere. Disse supplerende prøvene viste i hovedsak gode samsvar med forventet lagtykkelse. Flere plater hadde veltet og det vurderes at platene ble laget for lette slik at de enkelt veltet. Oversikt over målepinner og lokasjonene på disse finnes i vedlegg R.

Under forhold med høy turbiditet er metoden forbundet med betydelig usikkerhet i lokalisering og dokumentasjon, og alternative kontrollmetoder bør vurderes for å sikre både nøyaktighet og sporbarhet i kvalitetskontrollen.

Etter at anleggsarbeidene var avsluttet ble målepinner som var plassert på grunne områder (>1,5m dybde) fjernet for å unngå skade på tredjepart. Dette gjalt 13 målepinner.



Figur 8-10: Måleplate

8.3.3 Sjøbunnscan

Scan av sjøbunnen ble benyttet mye og ofte ved etablering av sjete. Scaning gjøres ved lettbåt og resultater kan fremvises raskt.

For tildekkingslag er ikke sjøbunnscan tilstrekkelig nøyaktig for å verifisere utlagt lag. Ved utlegging av masser vil de bløte sedimentene på sjøbunnen komprimeres slik at det ikke blir korrekt å sammenlikne scan av jomfruelig sjøbunn med scan etter tildekking.

Scannen gir imidlertid et godt bilde av jevnheten av tildekking og om det er gått noen brudd ved utlegging av tildekkingsmasser.

8.4 Miljøovervåking

Miljøovervåkingen er beskrevet i miljøovervåkingsplanen laget av NGI før oppstart av arbeidene. Basert på miljøovervåkingsplanen lagde Cowi en plan for utførelsen av miljøovervåkingen sammen med Repstad. Cowi stod for den jevnligte prøvetakingen, mens Repstad håndterte vannprøver ved alarm og prøvetaking av tildekkingslaget.

Miljøovervåkingen har i hovedsak fungert tilfredsstillende. Det har imidlertid forekommet enkelte tilfeller hvor det ikke er samlet inn tilstrekkelig materiale til å gjennomføre samtlige analyser, eller der prøver ikke har blitt tatt etter planen grunnet ferieavvikling. Turbiditetsmålerene har i perioder hatt utfordringer med batterier i kulden, men blitt utbedret med større batterier og kontrollrutiner. Prøver er sendt til analyse hos Eurofins som er akkreditert for analysene.

8.4.1 Prøver ved alarmer

Ved turbiditetsalarm ble det tatt vannprøve ved målestasjonen. Entreprenør sendte prøven med posten til laboratoriet for levering neste dag. Det har vært utfordringer knyttet til analysetiden til laboratoriet, selv om det bestilles som hurtiganalyse. Svaret på en alarmprøve vil derfor typisk komme etter at arbeidene har startet opp igjen.

Alarmer har blitt utløst om natten utenfor arbeidstid som følge av tidevannet. I disse tilfellene er det tatt prøver påfølgende morgen, men disse prøvene representerer ikke nødvendigvis situasjonen da alarmen gikk. Overvåkingsprogrammet beskrev ikke slike situasjoner.

9 Referanser

- [1] Miljødirektoratet, «2013/98 Pålegg om gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn i Gunneklevfjorden i Porsgrunn kommune,» 2018.
- [2] Miljødirektoratet, «2023/227 Vedtak om endring av pålegg om gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn i Gunneklevfjorden i Porsgrunn kommune,» 2023.
- [3] NGI, «20170636-07-R Tiltaksbeskrivelse tildekking av Gunneklevfjorden med sjeté,» 2023.
- [4] NGI, «20170636-08-R Tildekking i Gunneklevfjorden, Kontroll- og overvåkingsprogram,» 2023.
- [5] Miljødirektoratet, «M-608: Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota,» 2016.
- [6] NGI, «20170636-27-TN Miljørisikovurdering ved reparasjonsarbeider av bruddområdet,» 2025.
- [7] R. Anlegg, «1546 - Tildekning Gunneklevfjorden - Ytre miljø rev. 6,» 2024.
- [8] H. o. NGI, «Tildekking i Gunneklevfjorden - Årsrapport 2024,» 2025.
- [9] NGI, «20170636-04-R Sedimentprøvetaking datarapport,» 2019.
- [10] NGI, «20120820-01-R Underlag for beslutning om tiltak mot forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden,» 2015.
- [11] NGI, «20061581-04-R Herøya Industripark – sedimentundersøkelse 2007. Datarapport.,» 2007.

Vedlegg

- A. Daglig kontroll av siltgardin
- B. Dokumentasjon tildekkingsmasser
- C. Sjete Dumpelogg
- D. Sjete dokumentasjon
- E. Tildekking siktekurver
- F. Tildekkingslogg
- G. Vurdering bruddområdet
- H. Resultater miljøovervåking
- I. Turbiditetslogg
- J. Resultater tykkelsesmålinger
- K. Bilder av tykkelsesmålinger
- L. Analyseresultater fra tildekkingslag
- M. Stikkprøvekontroll av tildekking
- N. Vurdering av tiltaksmål
- O. Oversikt uønskede hendelser ytre miljø
- P. Miljørisikovurdering_rev 03
- Q. Vurdering kjerneprøvetaker
- R. Målepinner